

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-232040

(43)Date of publication of application : 16.08.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/08
G01R 33/09
G11B 5/39
H01F 10/32
H01F 41/32
H01L 43/12

(21)Application number : 2001-352008

(71)Applicant : TDK CORP

(22)Date of filing : 16.11.2001

(72)Inventor : SUN JIJUN
ARAKI SATORU

(30)Priority

Priority number : 2000 249266
2001 903697

Priority date : 17.11.2000
13.07.2001

Priority country : US

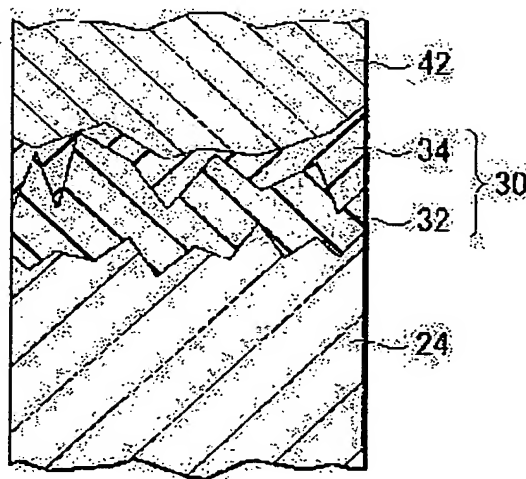
US

(54) MAGNETIC TUNNEL JUNCTION ELEMENT AND ITS MANUFACTURING METHOD AS WELL AS MAGNETIC HEAD JUNCTION TYPE HEAD AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an MTJ element capable of obtaining a high TMR and a low resistance even at an ambient temperature and excellent symmetry of electric characteristics and an MTJ head as well as methods for manufacturing the same.

SOLUTION: The method for manufacturing the MTJ element 70 comprises the steps of sequentially laminating a first ferromagnetic layer 24, a tunnel barrier layer 30 and a second ferromagnetic layer 42. The tunnel barrier layer 30 is formed by the method comprising a step of forming a metal layer or a nonmagnetic layer on the first ferromagnetic layer 24 and oxidizing to form a first thin film 32, and a step of forming a second thin film 34 on the first thin film 32.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

28.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the magnetic tunnel junction component which is a magnetic tunnel junction component for detecting the impressed magnetic field, is pinched by the 1st ferromagnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and said 1st and 2nd ferromagnetic layers, is equipped with the tunnel barrier layer which touches these two layers, and is characterized by said tunnel barrier layer containing the 1st barrier layer to which oxidation treatment was given, and the 2nd barrier layer.

[Claim 2] Said 2nd barrier layer is a magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by performing oxidation treatment.

[Claim 3] Said 1st barrier layer is a magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by having the thickness more than the thickness of said 2nd barrier layer.

[Claim 4] Furthermore, the magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by having other at least one-layer barrier layers on said 2nd barrier layer.

[Claim 5] Said 1st barrier layer is a magnetic tunnel junction component according to claim 4 characterized by being thicker than any of a barrier layer besides the above, or being equivalent.

[Claim 6] Said 1st ferromagnetic layer is a magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by being the ferromagnetic free layer from which the magnetization direction changes with external magnetic fields freely.

[Claim 7] The thickness of said 1st barrier layer is a magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by being 0.6nm or less.

[Claim 8] At least one side among said 1st and 2nd barrier layers Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), a tantalum (Ta), niobium (Nb), copper (Cu), Platinum (Pt), palladium (Pd), boron (B), carbon (C), aluminum (aluminum), A tungsten (W), silicon (Si), titanium (Ti), vanadium (V), The magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by including at least one sort in the group which consists of a ruthenium (Ru), a rhenium (Re), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga).

[Claim 9] The magnetic tunnel junction component according to claim 1 to which at least one side is characterized by including at least one sort in the group which consists of aluminum (aluminum), a tantalum (Ta), nickel (nickel), titanium (Ti), a hafnium (Hf), magnesium (Mg), silicon (Si), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga) among said 1st and 2nd barrier layers.

[Claim 10] Said 2nd barrier layer is the magnetic tunnel junction component of claim 1 characterized by carrying out annealing treatment.

[Claim 11] The thickness of said 2nd barrier layer is a magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by being 0.4nm or less.

[Claim 12] The thickness of said tunnel barrier layer is a magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by being 1.5nm or less.

[Claim 13] It sets, when the bias voltage of the range of 0 to 500mV is impressed, and said tunnel barrier layer is the resistance difference $[\text{abs}(R^+-R^-)/R^{++}R^-]$ of forward bias voltage and negative bias voltage. Magnetic tunnel junction component according to claim 1 characterized by being less than 3%.

[Claim 14] The process which is the approach of manufacturing the magnetic tunnel junction component for detecting the impressed magnetic field, and forms the 1st ferromagnetic part, The process which forms a tunnel barrier part on said 1st ferromagnetic part, The process which forms the 2nd ferromagnetic part on said tunnel barrier part is included. The formation process of said tunnel barrier part The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component characterized by forming the 1st barrier part on said 1st ferromagnetic part, and including the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part on said 1st barrier part.

[Claim 15] Said tunnel barrier partial formation process is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including the process which carries out oxidation treatment after forming the 2nd barrier part on the 1st [after oxidation treatment] barrier part.

[Claim 16] Said tunnel barrier partial formation process is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 15 characterized by including further the process which forms other barrier parts of at least one layer on the 2nd barrier part after forming said 2nd barrier part.

[Claim 17] Said 1st barrier part is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by having the thickness more than the thickness of said 2nd barrier part.

[Claim 18] Said 1st barrier part is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according

THIS PAGE BLANK (USPTO)

to claim 16 characterized by being thicker than any of said 2nd barrier part, and a barrier part besides the above, or being equivalent.

[Claim 19] Said 1st ferromagnetic part is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by being a ferromagnetic free part.

[Claim 20] The thickness of said 1st barrier part is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by being 0.6nm or less.

[Claim 21] At least one side among said 1st and 2nd barrier parts Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), a tantalum (Ta), niobium (Nb), copper (Cu), Platinum (Pt), palladium (Pd), boron (B), carbon (C), aluminum (aluminum), A tungsten (W), silicon (Si), titanium (Ti), vanadium (V), The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including at least one sort in the group which consists of a ruthenium (Ru), a rhenium (Re), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga).

[Claim 22] The manufacture approach of a magnetic tunnel junction component according to claim 14 that at least one side is characterized by including at least one sort in aluminum (aluminum), tantalum (Ta), nickel (nickel), titanium (Ti), hafnium (Hf), magnesium (Mg), silicon (Si), zirconium (Zr), and gallium (Ga) kana **** among said 1st and 2nd barrier parts.

[Claim 23] The manufacture approach of a magnetic tunnel junction component according to claim 14 that thickness of said 2nd barrier part is characterized by being 0.4nm or less.

[Claim 24] The manufacture approach of a magnetic tunnel junction component according to claim 16 that thickness of the maximum upper layer of a barrier part besides the above is characterized by being 0.4nm or less.

[Claim 25] The thickness of said tunnel barrier part is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by being 1.5nm or less.

[Claim 26] Furthermore, the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including the process which heats said tunnel barrier part after forming said 2nd ferromagnetic part.

[Claim 27] The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 26 characterized by heat-treating at less than 300 degrees C at said heating process.

[Claim 28] Said 1st and 2nd ferromagnetic parts are the manufacture approaches of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including at least one sort in the group which consists of cobalt (Co), iron (Fe), and nickel (nickel).

[Claim 29] Furthermore, the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including the process which forms an antiferromagnetism part so that either of said 1st and 2nd ferromagnetic parts may be adjoined.

[Claim 30] The magnetic tunnel junction component manufacture approach according to claim 14 characterized by including the process which forms the 1st ferromagnetic layer, a non-magnetic metal layer, and the 2nd ferromagnetic layer in order in the process which forms at least one side among said 1st and 2nd ferromagnetic parts.

[Claim 31] In the process which forms at least one side among said 1st and 2nd ferromagnetic parts The process which forms the 1st and 2nd ferromagnetic layers and the non-magnetic metal layer pinched among them is included. This process The step which forms one ferromagnetic layer among said 1st and 2nd ferromagnetic layers using the ingredient containing cobalt (Co), a cobalt (Co) alloy, and a ferronickel (NiFe) alloy so that a tunnel barrier part may be adjoined, Into a ferronickel (NiFe) alloy or a ferronickel alloy, chromium (Cr), A tantalum (Ta), molybdenum (Mo), The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including the step which forms the ferromagnetic layer of another side among said 1st and 2nd ferromagnetic layers using the alloy which comes to add at least one sort in the group which consists of niobium (Nb) and a zirconium (Zr).

[Claim 32] Furthermore, the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including the process which forms the seed layer which has at least one sort in the group which consists of a tantalum (Ta), chromium (Cr), titanium (Ti), a nickel chromium (NiCr) alloy, and a nickel ferrochrome (NiFeCr) alloy.

[Claim 33] Furthermore, the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by including the process which forms the 1st and 2nd electric lead layers containing at least one sort in the group which consists of copper (Cu), aluminum (aluminum), and a ferronickel (NiFe) alloy.

[Claim 34] said tunnel barrier part — resistance difference $[abs(R_{+-} - R_{-+}) / (R_{++} + R_{--})]$ with bias voltage forward bias voltage and negative to the case of the range of 0 to 500mV in bias voltage The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 14 characterized by forming so that it may become less than 3%.

[Claim 35] The process which forms the 1st ferromagnetic part, and the process which forms a tunnel barrier part and the 2nd ferromagnetic part on said 1st ferromagnetic part at this order are included. The process which the formation process of said tunnel barrier part forms the 1st barrier part which has the thickness of 0.6nm or less on said 1st ferromagnetic part, and is oxidized, The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component characterized by including the process which forms the 2nd barrier part which has the thickness of 0.4nm or less on said 1st barrier part.

[Claim 36] Said tunnel barrier partial formation process is the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 35 characterized by forming the 2nd barrier part which has the thickness of 0.4nm or less on the 1st [after oxidation treatment / said] barrier part, and including the process which carries out oxidation

THIS PAGE BLANK (USPTO)

treatment.

[Claim 37] The manufacture approach of a magnetic tunnel junction component according to claim 35 that at least one side is characterized by including at least one sort in the group which consists of aluminum (aluminum), a tantalum (Ta), nickel (nickel), titanium (Ti), a hafnium (Hf), magnesium (Mg), silicon (Si), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga) among said 1st and 2nd barrier part.

[Claim 38] The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component according to claim 35 characterized by including the process which carries out heat-treatment of less than 5 hours at the temperature of less than 300 degrees C after forming said 2nd ferromagnetic part.

[Claim 39] It is the magnetic tunnel junction mold head which detects the data magnetically recorded on the magnetic-recording medium using the magnetic tunnel junction component. The 1st ferromagnetic layer, It is the magnetic tunnel junction mold head which is equipped with the tunnel barrier layer which touches on said 1st ferromagnetic layer, and the 2nd ferromagnetic layer which touches on said tunnel barrier layer, and is characterized by said tunnel barrier layer containing the 1st barrier layer by which it was oxidized, and the 2nd barrier layer.

[Claim 40] The process which is the approach of manufacturing the magnetic tunnel junction mold head which detects the data magnetically recorded on the magnetic-recording medium using the magnetic tunnel junction component, and forms the 1st ferromagnetic part, The process which forms a tunnel barrier part and the 2nd ferromagnetic part on said 1st ferromagnetic part at this order is included. Said tunnel barrier partial formation process The manufacture approach of the magnetic tunnel junction mold head characterized by forming the 1st barrier part on said 1st ferromagnetic part, and including the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part on the 1st [after oxidation treatment / said] barrier part.

[Claim 41] It is the approach of manufacturing the magnetic tunnel junction mold head which detects the data magnetically recorded on the magnetic-recording medium using the magnetic tunnel junction component. The 1st ferromagnetic part, The process which forms a tunnel barrier part and the 2nd ferromagnetic part in this order is included. The formation process of said tunnel barrier part The process which forms the 1st barrier part which has the thickness of 0.6nm or less on said 1st ferromagnetic part, and is oxidized, The manufacture approach of the magnetic tunnel junction mold head characterized by including the process which forms the 2nd barrier part which has the thickness of 0.4nm or less on the 1st [after oxidation treatment / said] barrier part.

[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the magnetic tunnel junction component which has the tunnel barrier layer which is excellent in homogeneity and symmetry especially, its manufacture approach, a magnetic tunnel junction mold head equipped with the magnetic tunnel junction component, and its manufacture approach about the magnetic tunnel junction (magnetic tunnel junction:MTJ) component which detects the data magnetically recorded on the magnetic-recording medium, its manufacture approach, a magnetic tunnel junction mold head equipped with the magnetic tunnel junction component, and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] the former — anisotropy magnetic reluctance (Anisotropic Magneto-Resistance, following, AMR) — effective — it is — the magnetic-reluctance (Magneto-Resistive, following, MR) component based on the spin bulb (Spin-Valve, following, SV) effectiveness is widely used as a playback transducer (transducer) for reproducing a magnetic-recording medium. Such a MR component detects the leakage field produced by change of the signal recorded on the record medium using resistance change produced in the reproducing-head section which consists of a magnetic material. Magnetic-reluctance rate-of-change $\Delta R/R$ using the AMR effectiveness of MR component (namely, AMR component) is low, and, generally is about 1 – 3%. On the other hand, generally $\Delta R/R$ of SV component at the time of impressing the same magnetic field reaches to 2 – 7%. The reproducing head using such a high sensitivity SV component can respond to very high recording density, and the recording density becomes several gigabits or more (several Gbits/in² above, 1 Gbits/in² \approx 6.45 Gbits/cm²) per 1 square inch. Therefore, it came to replace SV mold reproducing head with the AMR reproducing head gradually.

[0003] Fundamental SV component has the structure where two ferromagnetic layers are separated by the non-magnetic layer as indicated by U.S. Pat. No. 5,159,513. Furthermore, with this SV component, the switched connection layer (pinning layer) formed with the iron manganese (FeMn) alloy is formed so that one of two ferromagnetic layers may be adjoined. between the ferromagnetic layers which adjoin a switched connection layer and this — switched connection — being generated — the one direction of specification [the magnetization direction of the ferromagnetic layer] — strong — pinning — that is, it is fixed. The ferromagnetic layer to which this magnetization direction was fixed is called a strong magnetic pinned layer. The magnetization direction of the ferromagnetic layer of another side, i.e., a ferromagnetic free layer, is freely rotated according to a small external magnetic field. With such an SV component, electric resistance increases and thereby comparatively high resistance rate of change (MR ratio) is obtained as the magnetization direction of two ferromagnetic layers changes from parallel to an anti-parallel condition.

[0004] As a MR component of a different type from the above-mentioned AMR component and above-mentioned SV component, there is a component using a tunnel magneto-resistive effect (Tunneling Magneto-Resistance, TMR). This is indicated by "the tunnel effect between ferromagnetic thin films" (225 "Tunneling Between Ferromagnetic Films", Physics Letters, 54A 1975) by Julliere. MR component using such TMR is known as a magnetic tunnel junction (Magnetic Tunnel Junction, MTJ) component or a magnetic-reluctance tunnel junction (Magneto-Resistive Tunnel Junction, MRTJ) component. The MTJ component as well as SV component has the structure which put the thin insulating layer by two ferromagnetic layers (electrode layer). One ferromagnetic layer is a strong magnetic pinned layer which has the magnetic moment fixed in the specific direction between two ferromagnetic layers, and another ferromagnetic layer is a ferromagnetic free layer (called a sense layer) which has the magnetic moment freely rotated according to an external magnetic field. Unlike SV component, actuation of a MTJ component is called a CPP (current perpendicular to the plane) mold. That is, the sense current which flows a MTJ component flows perpendicularly to the thickness direction, i.e., the membrane formation side, of a cascade screen. This sense current is produced by impressing bias voltage to two ferromagnetic layers of a MTJ component. This sense current is acquired because an electron passes a tunnel barrier layer according to the tunnel effect. For this reason, as for the tunnel barrier layer, electron tunneling has become thinly enough so that may be obtained.

[0005] It depends for the process in which an electron passes an insulating layer in the spin polarization condition strongly. Namely, the sense current which flows a MTJ component is influenced in the spin polarization condition of two ferromagnetic layers (a strong magnetic pinned layer and ferromagnetic free layer), and the relative direction of the magnetic moment (the magnetization direction). Since two ferromagnetic layers show a different reaction to an external magnetic field, they can change the relative magnetization direction in these two ferromagnetic layers

THIS PAGE BLANK (USPTO)

according to an external magnetic field.

[0006] A sense current's passage of the 1st ferromagnetic layer spin-polarization-izes an electron. the magnetization direction of two ferromagnetic layers — mutual — anti — the probability for electron tunneling which minded the tunnel barrier layer when **** to be obtained — falling — consequently, a sense current — flowing — being hard — the big bond resistance R_{ap} is obtained. On the other hand, since the probability for electron tunneling to be obtained becomes high and a sense current becomes easy to flow when the magnetization direction of two ferromagnetic layers is mutually parallel, thereby, it is the small bond resistance R_p . It is obtained. the magnetization direction of both ferromagnetic layers — mutual — the middle condition of a condition [****], i.e., an parallel condition and an anti-parallel condition, — bond resistance R_m R_{ap} and R_p middle magnitude — becoming — $R_{ap} > R_m > R_p$ ** — the relation to say is obtained. If magnetic-reluctance rate of change (TMR ratio) is defined using these notations, it is $\Delta R/R = (R_{ap} - R_p)/R_p$. It can express.

[0007] Like the magnetization transition in a magnetic-recording medium, arrangement of the relative magnetization direction of two ferromagnetic layers, i.e., an include angle, is influenced in an external magnetic field, and it changes. Since this relative include-angle change of the magnetization direction also influences the electric resistance of a MTJ component, output voltage changes. Therefore, it becomes possible by detecting the change of output voltage based on change of electric resistance, i.e., include-angle change of the relative magnetization direction, to detect change of an external magnetic field. Thus, a MTJ component can reproduce now information recorded on the magnetic-recording medium.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The MTJ component reported before 1995 had only the low thing of the TMR effectiveness, and the TMR ratio under a room temperature was about about 1 - 2%. However, after the MTJ component which will show 10% or more of high TMR ratio for the first time under a room temperature in 1995 was discovered, expectation that a MTJ component was applicable to playback of a super-high density record medium grew. this — being related — Moodera ** — it was reported by the "ferromagnetic thin film tunnel junction which has big magnetic reluctance under a room temperature" ("Large Magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film tunnel Junctions", Physics.Review.Letters, 74, 327, 1995) to depend.

[0009] However, it was difficult the former to make the MTJ component suitable for practical use which shows high TMR ratio sufficient in the bottom of a room temperature. The main factors which obstruct application to the reproducing head are the points that junction resistance is large and a signal-to-noise (Signal to Noise, S/N) ratio falls with the conventional MTJ component. In order to raise surface recording density, contraction of the plane-of-composition product in a MTJ component is not avoided, but the factor of big junction resistance poses a serious problem inevitably. On the other hand, by "Magnetic Tunnel Junctions WithIn Situ Naturally-Oxidized Tunnel Barrier" (magnetic tunnel junction which has the tunnel barrier by the natural oxidation method) (Appl.Phys.Lett.71, 3296 (1997)) by Tsuge and Mitsuzuka, if a resistance junction value is low, the phenomenon in which a TMR ratio becomes small is reported.

[0010] As a problem produced with a MTJ component, there is a thing called a shot noise (noise produced in case an electron passes a tunnel barrier layer), and this leads to the fall of a S/N ratio. A shot noise is proportional to the junction resistance R and the square root of the sense current I . In detail, it is shown in the following (1) type. Here, V_{rms} and a frequency band are set to Δf for a shot noise. In addition, among (1) type, e is quantum of electricity and is abbreviation 1.6×10^{-19} C (coulomb).

[0011]

$V_{rms} = (2eI\Delta f R)^{1/2}$ and $R \dots (1)$

[0012] In order to obtain a S/N ratio high enough, it is necessary to reduce the junction resistance R . As this bond resistance R was shown in (2) types, it turns out that it changes exponentially to the square root of thickness d of a tunnel barrier layer, and obstruction height (energy gap) ϕ of a tunnel barrier layer.

[0013]

$R \propto \exp(d\phi/2)$... (2)

[0014] (2) As shown in a formula, it is possible by making thickness d thin to reduce the junction resistance R . However, if the thickness of a tunnel barrier layer decreases, a new problem may arise or the effect may increase. For example, when the thickness of a tunnel barrier layer is too thin, a pinhole will occur. This pinhole makes a tunnel barrier layer generate leakage current, and causes the problem of decreasing junction resistance and a S/N ratio.

[0015] Furthermore, the problem [d / of a tunnel barrier layer / thickness] of being uneven also exists in the conventional MTJ component. On the oxide front face which is a top face of the tunnel barrier layer after oxidization, oxygen is mostly distributed rather than the base. For this reason, when bias voltage is impressed, an electrical property (for example, output voltage) shows asymmetry (asymmetry). Such asymmetry makes obstruction height (energy gap) ϕ of the direction which intersects perpendicularly with thickness d of a tunnel barrier layer change.

[0016] As a problem relevant to a MTJ component, an electrostatic discharge (Electro Static Discharge, ESD) is mentioned. There is breakdown voltage in a MTJ component and it is usually about 150 volts (V). When the MTJ component has a showing [asymmetry] electrical property, the breakdown voltage of one direction of bias becomes lower than the direction of bias of another side. Therefore, since the breakdown voltage of a MTJ component becomes lower than the case where there is no asymmetry, by ESD, it leads to destruction of a MTJ component.

[0017] As other problems relevant to a MTJ component, the time dependency (Time Dependence of Dielectric

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Breakdown, TDDb) of dielectric breakdown is mentioned. Resistance of a tunnel barrier layer (namely, dielectric) will decrease with the passage of time for it not to be desirable. In this case, if the tunnel barrier layer is more homogeneous, the more the symmetry of the electrical property of a tunnel barrier layer is more excellent a certain forge fire, the more a tunnel barrier layer will be stabilized more with time.

[0018] Furthermore, there is a problem whether rate of an excellent article sufficient at the time of mass production method of a MTJ component is secured as another problem relevant to a MTJ component. Usually, many MTJ components are formed on one wafer. Unless it is fixed in the direction in which the width of face, the thickness, or the obstruction height of a tunnel barrier layer crosses a wafer, many of produced MTJ components become inadequate [output voltage or performance characteristics like a bond resistance], and it does not meet Quality Control Standard Code. Therefore, in order to raise the ratio of the product to the rate of an excellent article, i.e., the total volume, of a MTJ component, a tunnel barrier layer is homogeneous and it is required for the electrical property to have symmetric property.

[0019] This invention was made in view of this trouble, it shows high tunnel magnetic-reluctance rate of change, and the purpose is to provide the bottom of a room temperature with the magnetic tunnel junction component applicable to playback, its manufacture approach, the magnetic tunnel junction mold head, and its manufacture approach of a high density record medium while showing low junction resistance.

[0020] The 2nd purpose of this invention is offering the magnetic tunnel junction component equipped with the tunnel barrier layer which has the electrical property which is excellent in symmetry, its manufacture approach, a magnetic tunnel junction mold head, and its manufacture approach.

[0021] The 3rd purpose of this invention is offering a magnetic tunnel junction component excellent in ESD and TDDb, its manufacture approach, a magnetic tunnel junction mold head, and its manufacture approach.

[0022] Furthermore, the 4th purpose of this invention is to offer the magnetic tunnel junction component which has the homogeneous tunnel barrier layer which can maintain the high rate of an excellent article at the time of mass production method, its manufacture approach, a magnetic tunnel junction mold head, and its manufacture approach.

[0023]

[Means for Solving the Problem] The magnetic tunnel junction component of this invention is a magnetic tunnel junction component for detecting the impressed magnetic field. The 1st ferromagnetic layer, It is inserted into the 2nd ferromagnetic layer, and these [1st] and the 2nd ferromagnetic layer, and it has the tunnel barrier layer which is in contact with these two layers, and is made for this tunnel barrier layer to contain the 1st barrier layer to which oxidation treatment was given, and the 2nd barrier layer.

[0024] With the magnetic tunnel junction component of this invention, since the tunnel barrier layer contains the 1st barrier layer by which it was oxidized, and the 2nd barrier layer, the tunnel barrier layer which has uniform insulation according to the thickness direction can be formed.

[0025] It is desirable that oxidation treatment is performed to the 2nd barrier layer with the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0026] As for the 1st barrier layer, with the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable to have the thickness more than the thickness of the 2nd barrier layer. By this, the tunnel barrier layer which has more uniform insulation can be formed.

[0027] Furthermore, it is desirable to have other at least one-layer barrier layers on the 2nd barrier layer further with the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0028] With the magnetic tunnel junction component of this invention, the thickness of the 1st barrier layer is thicker than any of other barrier layers, or its equivalent thing is desirable.

[0029] It is desirable for the 1st ferromagnetic layer to be a ferromagnetic free layer from which the magnetization direction changes with external magnetic fields freely with the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0030] As for the thickness of the 1st barrier layer, with the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable that it is 0.6nm or less.

[0031] With the magnetic tunnel junction component of this invention, among the 1st and 2nd barrier layers, at least one side Chromium (Cr), molybdenum (Mo), a tantalum (Ta), niobium (Nb), Copper (Cu), platinum (Pt), palladium (Pd), boron (B), carbon (C). It is desirable that it is a thing containing at least one sort in the group which consists of aluminum (aluminum), a tungsten (W), silicon (Si), titanium (Ti), vanadium (V), a ruthenium (Ru), a rhenium (Re), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga).

[0032] It is desirable for at least one side to be a thing containing at least one sort in the group which consists of aluminum (aluminum), a tantalum (Ta), nickel (nickel), titanium (Ti), a hafnium (Hf), magnesium (Mg), silicon (Si), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga) among the 1st and 2nd barrier layers with the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0033] With the magnetic tunnel junction component of this invention, annealing treatment of the 2nd barrier layer may be carried out.

[0034] As for the thickness of the 2nd barrier layer, with the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable that it is 0.4nm or less.

[0035] As for the thickness of a tunnel barrier layer, with the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable that it is 1.5nm or less.

[0036] the case where the bias voltage of the range of 0 to 500mV is impressed with the magnetic tunnel junction component of this invention — setting — resistance difference $[abs(R+R-)/ (R++R-)]$ of the tunnel barrier layer of

THIS PAGE BLANK (USPTO)

forward bias voltage and negative bias voltage It is desirable that it is less than 3%.

[0037] The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention The process which is the approach of manufacturing the magnetic tunnel junction component for detecting the impressed magnetic field, and forms the 1st ferromagnetic part, The process which forms a tunnel barrier part and the 2nd ferromagnetic part in order on this 1st ferromagnetic part is included. The formation process of a tunnel barrier part The 1st barrier part is formed on the 1st ferromagnetic part, and it is made to include the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part on this 1st barrier part.

[0038] By the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, since the 1st barrier part is formed and it was made to include the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part on this 1st barrier part, the tunnel barrier part which has uniform insulation according to the thickness direction can be formed.

[0039] After forming the 2nd barrier part on the 1st [after oxidation treatment] barrier part, you may make it include the process which carries out oxidation treatment by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention. In this case, the tunnel barrier part which has uniform insulation according to the thickness direction further can be formed.

[0040] After forming the 2nd barrier part, you may make it include further the process which forms other barrier parts of at least one layer on the 2nd barrier part in a tunnel barrier partial formation process by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0041] As for the 1st barrier part, by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable to have the thickness more than the thickness of the 2nd barrier part.

[0042] By the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, the 1st barrier part is thicker than any of the 2nd barrier part and other barrier parts, or its equivalent thing is desirable.

[0043] By the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, the 1st ferromagnetic part may be a ferromagnetic free part.

[0044] As for the thickness of the 1st barrier part, by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable that it is 0.6nm or less.

[0045] By the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention At least one side among the 1st and 2nd barrier parts Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), a tantalum (Ta), niobium (Nb), copper (Cu), Platinum (Pt), palladium (Pd), boron (B), carbon (C), aluminum (aluminum), It is desirable to include at least one sort in the group which consists of a tungsten (W), silicon (Si), titanium (Ti), vanadium (V), a ruthenium (Ru), a rhenium (Re), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga).

[0046] It is desirable for at least one side to contain at least one sort in the group which consists of aluminum (aluminum), a tantalum (Ta), nickel (nickel), titanium (Ti), a hafnium (Hf), magnesium (Mg), silicon (Si), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga) among the 1st and 2nd barrier parts by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0047] It is desirable for the thickness of the 2nd barrier part to be 0.4nm or less by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0048] It is desirable for the thickness of the maximum upper layer of other barrier parts to be 0.4nm or less by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0049] As for the thickness of a tunnel barrier part, by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable that it is 1.5nm or less.

[0050] After forming the 2nd ferromagnetic part by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable to include the process which heats said tunnel barrier part.

[0051] As for a heating process, by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable to heat-treat at less than 300 degrees C.

[0052] As for the 1st and 2nd ferromagnetic parts, by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable to include at least one sort in the group which consists of cobalt (Co), iron (Fe), and nickel (nickel).

[0053] It is desirable to include the process which forms an antiferromagnetism part further by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention so that either of the 1st and 2nd ferromagnetic parts may be adjoined.

[0054] It is desirable to include the process which forms the 1st ferromagnetic layer, a non-magnetic metal layer, and the 2nd ferromagnetic layer in order by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention in the process which forms at least one side among the 1st and 2nd ferromagnetic parts.

[0055] By the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention In the process which forms at least one side among the 1st and 2nd ferromagnetic parts The process which forms the 1st and 2nd ferromagnetic layers and the non-magnetic metal layer pinched among them is included. This process The step which forms a ferromagnetic layer using the ingredient containing cobalt (Co), a cobalt (Co) alloy, and a ferronickel (NiFe) alloy so that a tunnel barrier layer may be adjoined, Into a ferronickel (NiFe) alloy or a ferronickel alloy, chromium (Cr), It is desirable to include the step which forms other ferromagnetic layers using the alloy which comes to add at least one sort in the group which consists of a tantalum (Ta), molybdenum (Mo), niobium (Nb), and a zirconium (Zr).

[0056] It is desirable to include the process which forms the seed layer which has at least one sort in the group which consists of a tantalum (Ta), chromium (Cr), titanium (Ti), a nickel chromium (NiCr) alloy, and a nickel

TUIC DACE RI ANK (USPTO)

ferrochrome (NiFeCr) alloy by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0057] It is desirable to include the process which forms the 1st and 2nd electric lead layers which contain at least one sort in the group which consists of copper (Cu), aluminum (aluminum), and a ferronickel (NiFe) alloy by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0058] the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention — a tunnel barrier part — resistance difference $[\text{abs}(R+-R-)/](R++R-)$ with bias voltage forward bias voltage and negative to the case of the range of 0 to 500mV in bias voltage It is desirable to form so that it may become less than 3%.

[0059] The manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention The process which forms the 1st ferromagnetic part, and the process which forms a tunnel barrier part and the 2nd ferromagnetic part on this 1st ferromagnetic part at this order are included. The formation process of a tunnel barrier part forms the 1st barrier part which has the thickness of 0.6nm or less on the 1st ferromagnetic part, and it is made to include the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part which has the thickness of 0.4nm or less on this 1st barrier part.

[0060] By the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, since the 1st barrier part is formed and it was made to include the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part on this 1st barrier part, the tunnel barrier part which has uniform insulation according to the thickness direction can be formed.

[0061] It is desirable to form the 2nd barrier part to which the formation process of a tunnel barrier part has the thickness of 0.4nm or less on the 1st [after oxidation treatment] barrier part by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, and to include the process which carries out oxidation treatment.

[0062] It is desirable for at least one side to contain at least one sort in the group which consists of aluminum (aluminum), a tantalum (Ta), nickel (nickel), titanium (Ti), a hafnium (Hf), magnesium (Mg), silicon (Si), a zirconium (Zr), and a gallium (Ga) among the 1st and 2nd barrier part by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention.

[0063] After forming the 2nd ferromagnetic part by the manufacture approach of the magnetic tunnel junction component of this invention, it is desirable to include the process which carries out heat-treatment of less than 5 hours at the temperature of less than 300 degrees C.

[0064] The magnetic tunnel junction mold head of this invention is a magnetic tunnel junction mold head which detects the data magnetically recorded on the magnetic-recording medium using the magnetic tunnel junction component. The 1st ferromagnetic layer, It has the structure where the laminating of a tunnel barrier layer and the 2nd ferromagnetic layer was carried out to order, and is made for a tunnel barrier layer to contain the 1st barrier layer by which it was oxidized, and the 2nd barrier layer.

[0065] With the magnetic tunnel junction mold head of this invention, since the tunnel barrier layer contains the 1st barrier layer by which it was oxidized, and the 2nd barrier layer, the tunnel barrier layer which has uniform insulation according to the thickness direction can be formed.

[0066] The manufacture approach of the magnetic tunnel junction mold head of this invention The process which is the approach of manufacturing the magnetic tunnel junction mold head which detects the data magnetically recorded on the magnetic-recording medium using the magnetic tunnel junction component, and forms the 1st ferromagnetic part, The process which forms a tunnel barrier part and the 2nd ferromagnetic part on the 1st ferromagnetic part at this order is included. The formation process of a tunnel barrier part The 1st barrier part is formed on the 1st ferromagnetic part, and it is made to include the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part on the 1st [after oxidation treatment] barrier part.

[0067] The manufacture approach of the magnetic tunnel junction mold head of this invention The process which is the approach of manufacturing the magnetic tunnel junction mold head which detects the data magnetically recorded on the magnetic-recording medium using the magnetic tunnel junction component, and forms the 1st ferromagnetic part, The process which forms a tunnel barrier part and the 2nd ferromagnetic part on this 1st ferromagnetic part at this order is included. The formation process of a tunnel barrier part It is made to include the process which forms the 1st barrier part which has the thickness of 0.6nm or less on the 1st ferromagnetic part, and forms the 2nd barrier part which has the thickness of 0.4nm or less on the process to oxidize and the 1st [after oxidation treatment] barrier part.

[0068] By the manufacture approach of the magnetic tunnel junction mold head of this invention, in a tunnel barrier partial formation process, the 1st barrier part is formed, and since it was made to include the process to oxidize and the process which forms the 2nd barrier part on the 1st [after oxidation treatment] barrier part, the tunnel barrier layer which has uniform insulation according to the thickness direction can be formed.

[0069]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained with reference to a drawing.

[0070] [The gestalt of the 1st operation]

<the configuration of a MTJ component and a MTJ head> — the configuration of the magnetic tunnel junction mold (MTJ) head which contains the magnetic tunnel junction (MTJ) component concerning the gestalt of operation of this invention and this MTJ component with reference to drawing 1 and drawing 2 first is explained collectively.

[0071] Drawing 1 is the top view of the MTJ head 1 containing the MTJ component 70 concerning the gestalt of this

THIS PAGE BLANK (USPTO)

operation. Drawing 2 is the fragmentary sectional view of the MTJ head 1 containing the MTJ component 70 of drawing 1.

[0072] The MTJ head 1 has the structure where the laminating of the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10, the MTJ component 70, an insulating layer 50, and the up electrical-and-electric-equipment lead layer 60 was carried out to order, on the substrate 9. Here, the MTJ component 70 was laid under the insulating layer 50, the lower front face of the TMR component 70 touched the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10, and, on the other hand, the up front face is in contact with the up electrical-and-electric-equipment lead layer 60. The lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10 and the up electrical-and-electric-equipment lead layer 60 achieve the function as a current path to pass a sense current in the direction perpendicular to a laminating side, to the MTJ component 70. An insulating layer 50 is for insulating electrically the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10 and the up electrical-and-electric-equipment lead layer 60.

[0073] The MTJ component 70 by the gestalt of this operation is for reading the information written in the magnetic-recording medium which does not demonstrate and illustrate a tunnel magneto-resistive effect, and has a laminated structure as shown in drawing 2. The lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10 is touched, the lower electrode layered product 20 is formed, and the laminating of the tunnel barrier layer 30 and the up electrode layered product 40 is carried out to order on it. Both the lower electrode layered products 20 and up electrode layered products 40 that adjoin each other on both sides of the tunnel barrier layer 30 contain the ferromagnetic layer. As shown in drawing 2, the lower electrode layered product 20 formed on the up front face of the lower electrical-and-electric-equipment lead 10 contains the seed layer 22 and the ferromagnetic free layer 24 formed on the seed layer 22. The seed layer 22 is a non-magnetic layer, and raises the magnetic properties of the ferromagnetic free layer 24, and crystallinity.

[0074] The up electrode layered product 40 has the structure where the strong magnetic pinned layer 42, the antiferromagnetism layer (called a switched connection layer) 44, and the protective layer 46 were formed in order. A strong magnetic pinned layer 42 is also called the fixed bed. Even if, as for this, the external magnetic field of a certain direction is impressed to a MTJ component, it is because rotation of the magnetic moment in a strong magnetic pinned layer 42 is barred by the antiferromagnetism layer 44 and the magnetization direction is being fixed. Also where the magnetic moment of the ferromagnetic free layer 24 was not fixed, therefore a magnetic field is impressed in the predetermined range on the other hand, the magnetic moment can be rotated freely. Here, as for the magnetization direction 43 of a strong magnetic pinned layer 42, it is desirable to double in parallel to an external magnetic field. The magnetization direction 23 of the ferromagnetic free layer 24 is in a condition without an external magnetic field, and it is desirable to be perpendicularly located to the magnetization direction 43 of a strong magnetic pinned layer 42.

[0075] A sense current flows toward the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10 from the up electrical-and-electric-equipment lead layer 60. Therefore, it passes perpendicularly to a laminating side in order of a protective layer 46, the antiferromagnetism layer 44, a strong magnetic pinned layer 42, the tunnel barrier layer 30, the ferromagnetic free layer 24, the seed layer 22, and the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10. The amount of the flowing tunnel current depends for the tunnel barrier layer 30 in the magnetization direction of the magnetization direction 23 of the ferromagnetic free layer 24, and the magnetization direction 43 of a strong magnetic pinned layer 42 of two ferromagnetic layers which are separated by the tunnel barrier layer 30 and adjoin it, i.e., the relative direction. Thus, the current path is formed in the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10 from the top electrical-and-electric-equipment lead 60 at the MTJ component.

[0076] By the magnetic field from a magnetic-recording medium, the magnetization direction 23 is rotated so that it may become parallel or anti-parallel in the magnetization direction 43. By this, the relative orientation of the magnetic moment of two ferromagnetic layers 24, i.e., a ferromagnetic free layer, and a strong magnetic pinned layer 42 changes, and the amount of tunnel current also changes further. Therefore, the junction resistance of the MTJ component 70 changes, and this resistance change is detected as output voltage change, and is changed into playback data by for example, the magnetic-disk driving gear (not shown).

[0077] Drawing 3 is the sectional view of MTJ head 1' showing the modification of the MTJ component in the gestalt of the 1st operation shown in drawing 2. This MTJ component is equipped with strong magnetic pinned layer 42' below tunnel barrier layer 30'. "''" was substantially attached and displayed on the same component as the component of the gestalt of the 1st operation shown in drawing 1 at the same sign. It is the description that the template layer 25 is formed [which was shown in drawing 2] between seed layer 22' and antiferromagnetism layer (pinning layer) 44' in addition to the component of the gestalt of the 1st operation. Ferromagnetic free layer 24' is one example of "the 2nd ferromagnetic layer" of this invention, and strong magnetic pinned layer 42' is one example of "the 1st ferromagnetic layer" of this invention.

[0078] The <manufacture approach of a MTJ head>, next the above-mentioned manufacture approach of a magnetic tunnel junction mold (MTJ) head are explained. In addition, the manufacture approach of the magnetic tunnel junction (MTJ) component concerning the gestalt of this operation is also explained collectively.

[0079] With reference to drawing 1, drawing 2, and drawing 4, the manufacture approach of the MTJ head 1 and the MTJ component 70 is explained. Drawing 4 is the sectional view having expanded and shown each class of MTJ70.

[0080] First, after forming the insulating layer (not shown) which consists of an alumina etc. by sputtering etc. on a base 9, the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10 which consists of structure which carried out the laminating of the structure which carried out the laminating of two or more conductive non-magnetic materials, for

THIS PAGE BLANK (USPTO)

example, a tantalum, (Ta), copper (Cu), and the tantalum to order is formed on this insulating layer. Next, while forming the TMR component 70 in the part on the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10, as the perimeter field of the TMR component 70 is embedded, the insulating layers 50, such as an alumina (aluminum 2O3), are formed on the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10. The up electrical-and-electric-equipment lead layer 60 which consists of structure which carried out the laminating of a tantalum, copper, and the tantalum to order is formed by sputtering etc. so that the TMR component 70 and an insulating layer 50 may be covered after this.

[0081] Formation of the MTJ head equipped with the current path (the lower electrical-and-electric-equipment lead layer 10 and up electrical-and-electric-equipment lead layer 60) for passing a sense current in the direction perpendicular to a laminating side by the above to the TMR component 70 using a tunnel magneto-resistive effect and the TMR component 70 for magnetic-recording medium playback is completed.

[0082] Here, the TMR component 70 is formed as follows, for example. As shown in drawing 2, the seed layer 22 is formed by sputtering etc. on the lower electrode lead layer 10. As for the seed layer 22, it is desirable to be formed with the ingredient chosen from the group which consists of a tantalum, chromium (Cr), titanium (Ti), a nickel chromium (NiCr) alloy, and a nickel ferrochrome (NiCrFe) alloy. On the seed layer 22, the ferromagnetic free layer 24 which consists of a ferromagnetic layer is formed by sputtering etc. The ferromagnetic free layer 24 In this case, for example, the 1st ferromagnetic containing the high ingredient of spin polarization nature, such as cobalt (Co), a cobalt alloy, and a ferronickel (NiFe) alloy. It is desirable that it is the structure of having the 2nd ferromagnetic containing the ingredient which are low magnetization, such as a ferronickel (NiFe) alloy and a NiFeX alloy (X= chromium (Cr), a tantalum (Ta), molybdenum (Mo), niobium (Nb), zirconium (Zr)), and low coercive force. Thus, the lower electrode layered product 20 is formed on the lower electrode lead layer 10.

[0083] Then, the tunnel barrier layer 30 is formed by forming a metal layer etc. by sputtering etc. on the lower electrode layered product 20, and oxidizing a metal layer for this for example, by the natural oxidation method (the so-called in situ law). The manufacture approach of the tunnel barrier layer 30 is explained in full detail behind.

[0084] After forming the tunnel barrier layer 30, the laminating of the magnetic layers, such as non-magnetic layers, such as magnetic layers, such as a CoFe alloy, and a ruthenium (Ru), and a CoFe alloy, is carried out to order, and a strong magnetic pinned layer 42 is formed. In addition, as for a strong magnetic pinned layer 42, it is desirable to have the structure in which two ferromagnetic layers are carrying out antiferromagnetism association on both sides of the non-magnetic metal layer chosen from the group which consists of others, a rhenium (Re), a rhodium (Rh), copper, chromium, etc. [ruthenium] Subsequently, the antiferromagnetism layer 44 which consists of a platinum manganese (PtMn) alloy etc. is too formed by sputtering etc. Switched connection arises in the interface of a strong magnetic pinned layer 42 and the antiferromagnetism layer 44, and the sense of the magnetization in a strong magnetic pinned layer 42 is fixed. Finally, the protective layer 46 which consists of a tantalum is formed on the antiferromagnetism layer 44. In this way, formation of the TMR component 70 is completed. In addition, the ferromagnetic free layer 24 is one example of "the 1st ferromagnetic layer" of this invention, and a strong magnetic pinned layer 42 is one example of "the 2nd ferromagnetic layer" of this invention.

[0085] And it is a modification in the gestalt of the 1st operation, the manufacture approach of MTJ component 70' is explained below with reference to drawing 3 and drawing 5. Drawing 5 is the sectional view having expanded and shown each class of MTJ70'. Here, it omits [what / has the name same among the components of MTJ component 70' as the MTJ component 70] suitably about a concrete process and a name. In addition, since it is substantially [as the manufacture approach of the MTJ head 1] the same, the MTJ head 1' manufacture approach about components other than MTJ component 70' is omitted.

[0086] MTJ component 70' is formed as follows, for example. As shown in drawing 3, seed layer 22' is formed by sputtering etc. on the lower electrode lead layer 10. On seed layer 22', the template layer 25 which consists of a tantalum, chromium, titanium, a NiCr alloy, or a NiCrFe alloy by sputtering etc. is formed. Furthermore, lower electrode layered product 20' by which the laminating of seed layer 22', the template layer 25, antiferromagnetism layer 44', and strong magnetic pinned layer 42' was carried out to order is formed by forming antiferromagnetism layer 44' and strong magnetic pinned layer 42' in order. Then, tunnel barrier layer 30' is formed on lower electrode layered product 20'. After forming tunnel barrier layer 30', up electrode layered product 40' is formed by forming ferromagnetic free layer 24' and protective layer 46'. In this way, MTJ component 70' completion of is done.

[0087] In order to raise the TMR ratio of the oxidation style of a tunnel barrier layer, and the <evaluation> MTJ component 70 and to also improve a S/N ratio, especially the method of using the seed layer 22 and reducing the surface roughness of the lower electrode layered product 20 is desirable. Moreover, the tunnel barrier layer 30 carries out the laminating of the film formed with the aluminum film or other ingredients under low temperature, and can form it by oxidizing by the plasma. such junction resistance of the MTJ component 70 — the cross section — 200x300micrometer² it is — a case — hundreds of ohms to several 10 — it becomes the range of K omega.

[0088] In order to improve the S/N ratio of the MTJ component 70, the thickness of the tunnel barrier layer 30 is reduced and how to lower junction resistance is also considered. At this time, the tunnel barrier layer 30 is formed by oxidizing the aluminum film. Instead of the aluminum film, or chromium, molybdenum, a tantalum, Niobium, copper, platinum (Pt), palladium (Pd), boron (B), carbon (C), Aluminum, a tungsten (W), silicon (Si), titanium, vanadium (V), It is also possible to apply what oxidized the metal layer containing at least one of the groups which consist of a ruthenium, a rhenium, a zirconium, and a gallium (Ga), and the nonmetal layer to the tunnel barrier layer 30.

[0089] Drawing 6 is the fragmentary sectional view of the MTJ component 170 containing the tunnel barrier layer 130 of the monolayer formed by the conventional single oxidizing method. The laminating of the barrier 130 is

THIS PAGE BLANK (USPTO)

carried out on the ferromagnetic free layer 124, and the laminating of the strong magnetic pinned layer 142 is carried out further. As shown in drawing 6, the thickness changes greatly with laminating plane field places, and the tunnel barrier layer's 130 obtained by the single oxidizing method is often quite uneven. Furthermore, whenever [distribution / of the oxygen in the thickness direction] differ greatly. Thus, with the MTJ component 170 which has the uneven tunnel barrier layer 130, the asymmetry (asymmetry) in electrical properties, such as relation between a sense current and bias voltage, becomes remarkable.

[0090] On the other hand, with the gestalt of operation of the 1st of this invention, as shown in drawing 7, the laminating of two or more metal layers or nonmetal layers is carried out continuously, and the tunnel barrier layer 30 of the MTJ component 70 is formed by oxidizing. By this approach, the display flatness of the tunnel barrier layer 30, i.e., the homogeneity of thickness, can improve, and the homogeneous high tunnel barrier layer 30 of thickness can be formed rather than the tunnel barrier layer 130 by the single oxidizing method. If display flatness is improved, while thin thickness parts will decrease in number to the local target leading to a pinhole, the thickness of an effective tunnel barrier layer will increase. Therefore, a TMR ratio and junction resistance increase. That is, since the danger of pinhole generating decreased, the average of the thickness of the tunnel barrier layer 30 can be lowered, and therefore, junction resistance can be reduced, with the conventional TMR ratio maintained (a S/N ratio can be raised).

[0091] The formation approach of MTJ70 which contains the tunnel barrier layer 30 concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention hereafter is explained to a detail with reference to drawing 7.

[0092] The compound oxidation style which is the gestalt of the 1st operation will be called "an oxidation style I." Drawing 7 is the schematic drawing of the MTJ component 70 containing the tunnel barrier layer 30 formed by the oxidizing method I. After the tunnel barrier layer 30 forms the 1st barrier layer 32 on the ferromagnetic free layer 24, it is oxidized, and it is obtained by [which carried out the laminating further on the 1st barrier layer 32 after oxidizing the 2nd barrier layer 34] carrying out after oxidation treatment. In this oxidation style I, after an oxidation style I forms an aluminum layer on the ferromagnetic free layer 24, it is oxidized, and forms the 1st barrier layer 32 which consists of an aluminum oxide (AlOx), for example so that it can also be called a two-step oxidation style. Then, when it forms on the 1st barrier layer 32 after oxidizing an aluminum layer too and this also oxidizes for example, the 2nd barrier layer 34 is formed. In this case, the two oxidizing-zones, i.e., the 1st, and 2nd barrier layers 32 and 34 form the homogeneous AlOx layer 30 of one **, i.e., a tunnel barrier layer. Then, it is formed on the tunnel barrier layer 30 which a strong magnetic pinned layer 42 turns into from an AlOx layer. Naturally, the 1st and 2nd barrier layers 32 and 34 may be formed by oxidizing other metals and nonmetal layers instead of the above-mentioned aluminum layer. For example, the tunnel barrier layer 30 may also contain at least one sort in the group which consists of chromium, molybdenum, a tantalum, niobium, copper, platinum, palladium, boron, carbon, a tungsten, silicon, titanium, vanadium, a ruthenium, a rhenium, a zirconium, and a gallium. However, as for the tunnel barrier layer 30, it is more desirable that at least one sort in aluminum, a tantalum, nickel, titanium, a hafnium (Hf), magnesium (Mg), silicon, a zirconium, and a gallium is included.

[0093] The oxidation style I which is a two-step oxidation style can be further divided into the following two patterns. That is, it is two, the pattern (it is called the oxidizing method I-1) whose thickness t_1 of the 1st barrier layer 32 is less than [of the 2nd barrier layer 34 / thickness t_2], and a pattern (it is called an oxidation style I-2) with the thickness t_1 of the 1st barrier layer 32 thicker than the thickness t_2 of the 2nd barrier layer 34.

[0094] The case where the multilayer tunnel barrier layer 30 whose whole thickness t_0 is 0.5nm is formed as an example of an oxidation style I-2 ($t_1 > t_2$) is explained. First, the laminating of the aluminum film (1st barrier layer 32 before oxidation treatment of $t_1=0.3\text{nm}$) with a thickness of 0.3nm is carried out on the 1st ferromagnetic free layer 24 within a chamber by sputtering. The inside of a chamber is exhausted with a pump and the 1st AlOx film (1st barrier layer 32) is formed by exposing the aluminum film (1st barrier layer 32 before oxidation treatment) to pure oxygen or the oxygen plasma after that. Then, thickness carries out the laminating of the 2nd aluminum film (2nd barrier layer 34 before oxidation treatment which is $t_2=0.2\text{nm}$) which is 0.2nm on the 1st AlOx film. The inside of a chamber is again exhausted with a pump, and AlOx / "aluminum" film is exposed to pure oxygen or the oxygen plasma, and is oxidized. The high tunnel barrier layer 30 of the display flatness which consists of carrying out like this by the "AlOx/AlOx" film is obtained.

[0095] Although explained in full detail behind, the MTJ component 70 formed by the oxidation style I maintains a TMR ratio, and shows low junction resistance relatively compared with a single oxidation style. As for thickness t_1 , in the case of an oxidation style I, it is desirable to be 0.6nm or less and for thickness t_2 to be less than [thickness t_1].

[0096] In addition, in the gestalt of this operation, the laminating of the tunnel barrier layer 30 is carried out on the ferromagnetic free layer 24, and it is [a strong magnetic pinned layer 42] desirable that a laminating is carried out on the tunnel barrier layer 30. Furthermore, as for the thickness of the tunnel barrier layer 30, it is desirable that it is 1.5nm or less.

[0097] Next, while producing MTJ component 70A equipped with tunnel barrier layer 30A by the oxidizing method I-1 so that the thickness (total thickness $t_0=t_1+t_2$) of the sum total of the 1st barrier layer 32 before oxidation treatment and the 2nd barrier layer 34 might serve as a predetermined value, by the oxidizing method I-2, MTJ component 70B equipped with tunnel barrier layer 30B was produced, and both property comparison was performed. In addition, evaluation with the same said of MTJ170 by the conventional single oxidation style as an example of a comparison was performed.

[0098] Drawing 8 is the explanatory view showing the relation of the junction resistance R and the total thickness t_0

THIS PAGE BLANK (USPTO)

in MTJ component 70B formed by MTJ component 70A and the oxidation style I-2 which were formed by the oxidation style I-1. Here, both used the aluminum film as the 1st barrier layer 32A and 32B before oxidation treatment, and 2nd barrier layer 34A and 34B. The result about the MTJ component 170 equipped with the tunnel barrier layer 130 by the conventional single oxidizing method as an example of a comparison was also shown collectively. In drawing 8, an axis of ordinate shows a bond resistance R (Ω), and the total thickness t0 of the aluminum which is the sum total of the thickness t1 of the 1st barrier layer 32 before oxidation treatment whose axis of abscissa forms tunnel barrier layer 30A, and the thickness t2 of the 2nd barrier layer 34 before oxidation treatment (nm) is shown. In addition, in the tunnel barrier layer 130, it is shown on an axis of abscissa using the aluminum film of a monolayer, using the thickness as t0.

[0099] In drawing 8, the curve shown by "*" shows the property of the bond resistance R of the MTJ component 170 with the tunnel barrier layer 130 formed by the conventional single oxidizing method. "*" showed what is similarly depended on an oxidation style I-1, and "-" showed what is depended on an oxidation style I-2.

[0100] According to drawing 8, it is natural, but if thickness t0 decreases, the junction resistance R will decrease. For example, when the monolayer of 0.7nm aluminum is oxidized with a single oxidation style, resistance is 44.5ohms, but when a 0.5nm aluminum monolayer is oxidized, resistance is only 1.4ohms. This inclination is checked also in which oxidation style. However, if the junction resistance R in the same thickness t0 is compared, it changes with oxidation styles. Also in which thickness, t0, the lowest junction resistance R is shown, and a single oxidation style shows the high junction resistance R continuously in order of an oxidation style I-2 and an oxidation style I-1.

[0101] Drawing 9 shows the result of having investigated change of a TMR ratio, about the MTJ components 70A and 70B used by drawing 8. A TMR ratio (%) is shown on an axis of ordinate, and the total thickness t0 of tunnel barrier layer 30A and the aluminum film which is the sum total of the thickness t1 of the 1st barrier layer 32A and 34B before oxidation treatment to carry out and the thickness t2 of the 2nd barrier layer 34A and 34B before oxidation treatment 30B formation (nm) is shown on an axis of abscissa like drawing 8. It illustrated collectively also about the results of an investigation of the MTJ component 170 by the conventional single oxidation style. In addition, in the tunnel barrier layer 130, it is shown on an axis of abscissa using the aluminum film of a monolayer, using the thickness as t0.

[0102] If thickness t0 decreases from 0.7nm to 0.5nm in the case of the single oxidation style shown by "*" as shown in drawing 9, according to this, a TMR ratio will decrease from 27% to 5.4%. This means that it is difficult to maintain a high TMR ratio according to the process which forms the tunnel barrier layer 130 of a monolayer by oxidation treatment once, i.e., a single oxidation style, when the thickness of the aluminum layer to which oxidation treatment is performed is thin. If a TMR ratio falls, naturally, the output voltage of a MTJ component or a MTJ head will decline, and, thereby, a S/N ratio will also deteriorate. In addition, the MTJ component used for drawing 8 and drawing 9 has laminated structures, such as "a tantalum (5nm) / NiFe alloy (5nm) / CoFe alloy (2nm) / AlOx (being two-layer or monolayer 0.5-0.7nm) / CoFe alloy (3nm) / PtMn alloy (30nm) / tantalum." Here, the inside of a parenthesis shows the thickness of each class.

[0103] the MTJ component 170 formed with the single oxidation style as shown in drawing 8 and drawing 9 — the total — in the case of thickness t0=0.5nm, 5.4% of TMR ratio and the junction resistance R of 1.3 ohms are shown. MTJ component 70B by the oxidation style I-2 shown by "-" on the other hand — the total — in thickness t0=0.5nm, 14.7% of TMR ratio and the junction resistance R of 9.4 ohms are shown. In this case, tunnel barrier layer 30B was formed by [which oxidized after carrying out the laminating of the thickness t1=0.3nm aluminum film as 1st barrier layer 32B, and carried out the laminating of the thickness t2=0.2nm aluminum film as 2nd barrier layer 34B on this continuously] carrying out after oxidation treatment. Therefore, when forming MTJ component 70B with an oxidation style I-2 and forming especially an aluminum thin layer, both a TMR ratio and the junction resistance R increase. In this result, during the first oxidization, i.e., oxidation treatment of 1st thickness t1=0.3nm barrier layer 32B, although the interface (field which touches the 1st barrier layer 32) of the ferromagnetic free layer 24 under this film oxidizes slightly, a serious problem like the phenomenon which the pinhole produced with the conventional single oxidation style suggests not becoming.

[0104] Table 1 summarizes the result of above-mentioned drawing 8 and drawing 9 in a table.

[0105] O [Table 1]

酸化法	厚み t 0	平均 R × A	係数 a	1 × 1 μm^2	
	nm	$\Omega \mu\text{m}^2$	—	TMR (%)	R (Ω)
酸化法 I-2	3+2	8.1	1.0051	14.7	9.4
酸化法 I-1	3+3	37.1	0.9662	25.9	41.1
酸化法 I-2	4+2	23.7	0.9869	26.7	26.9
酸化法 I-1	3+4	78.4	0.9874	25.0	83.2
酸化法 I-2	4+3	52.5	0.9844	26.3	57.9
単一酸化法	7	44.5	0.9928	27.6	45.7
単一酸化法	6	11.3	1.0056	16.9	13.3
単一酸化法	5	1.4	0.8490	5.4	1.3

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[0106] In Table 1, the item of a left end train shows the class of oxidation process. the thickness of the aluminum film of the monolayer before oxidation treatment which the item of eye two trains becomes with a tunnel barrier layer in the case of the single oxidizing method — being shown — the case of the oxidizing method I — “— thickness t_1 + of the 1st barrier layer — thickness t_2 (both — aluminum film)” of the 2nd barrier layer is shown. The item of eye three trains shows average $R \times A$ (ohmmum2), and the item of eye four trains is a multiplier at the time of fitting [data / the straight line expressed with a linear function]. It is shown that the high quality tunnel barrier layer is formed, so that this multiplier a is close to 1.0. For the item of eye five trains and eye six trains, a plane-of-composition product is 2 1x1 micrometer. The TMR ratio (%) and the junction resistance R (Ω) of a case are shown.

[0107] Then, it investigated about the TMR ratio at the time of impressing a magnetic field H to a MTJ component, and the response characteristic of the junction resistance R . Drawing 10 shows the result of MTJ170 equipped with the tunnel barrier layer 130 formed by the conventional single oxidizing method, and, on the other hand, drawing 11 shows the result about MTJ70B equipped with tunnel barrier layer 30B formed by the oxidizing method I-2 in the gestalt of the 1st operation. which tunnel barrier layers 130 and 30B — also setting — the total thickness t_0 — 0.5nm and a plane-of-composition product — 1x1micrometer² it is . In drawing 10 and 11, an axis of ordinate shows a TMR ratio (%), and an axis of abscissa shows magnetic field H (Oe).

[0108] The tunnel barrier layer 130 was formed by oxidizing the aluminum film with a thickness of 0.5nm independently. As shown in drawing 10 , a big change is not seen to a magnetic field H , but, as for maximum, the junction resistance R remains [the TMR ratio] in about 1.40 (Ω) about 5%. On the other hand, tunnel barrier layer 30B was formed according to the process oxidized after carrying out the laminating of the thickness $t_1=0.3nm$ aluminum film as 1st barrier layer 32B, and the process which carried out the laminating of the thickness $t_2=0.2nm$ aluminum film as 2nd barrier layer 34B continuously and which carries out after oxidation treatment. As shown in drawing 11 , change of bigger responsibility than the single oxidation style of drawing 10 was seen, and, as for maximum, the junction resistance R was set to about 10.7 (Ω) by the TMR ratio about 15%.

[0109] drawing 12 -14 — the total — they are the TMR ratio which compared each oxidation style at the time of being referred to as thickness $t_0=0.6nm$, and a response curve to the magnetic field H of the junction resistance R . Like drawing 10 and 11, the plane-of-composition product of a tunnel barrier layer unifies, and is 2 1x1 micrometer. It carried out. An axis of ordinate shows a TMR ratio (%) and the junction resistance R (Ω), and an axis of abscissa shows magnetic field H (Oe). drawing 12 was formed by the conventional single oxidizing method — the total — the response characteristic of the MTJ component 170 equipped with the tunnel barrier layer 130 of the thickness $t_0=0.6nm$ aluminum film is shown. Drawing 13 oxidizes the thickness $t_1=0.4nm$ aluminum film (1st barrier layer 32B) first, and shows the response characteristic of MTJ component 70B equipped with tunnel (that is, based on oxidizing method I-2) barrier layer 30B formed by next oxidizing the thickness $t_2=0.2nm$ aluminum film (2nd barrier layer 34B). Furthermore, drawing 14 oxidizes the thickness $t_1=0.3nm$ aluminum film (1st barrier layer 32A) first, and shows the response characteristic of MTJ component 70A equipped with tunnel (that is, based on oxidizing method I-1) barrier layer 30A formed by next oxidizing the thickness $t_2=0.3nm$ aluminum film (the 2nd barrier 34A). The response characteristic of a MTJ component changes with oxidation styles as shown in drawing 12 -14.

[0110] drawing 15 -17 [furthermore,] — the total — they are the TMR ratio which compared each oxidation style in thickness $t_0=0.7nm$, and a response curve to the magnetic field H of the junction resistance R . the plane-of-composition product of each tunnel barrier layer — 1x1micrometer² it is — an axis of ordinate shows a TMR ratio (%) and the junction resistance R (Ω), and an axis of abscissa shows magnetic field H (Oe). Drawing 15 shows the response characteristic of the MTJ component 170 by the single oxidation style. Drawing 16 shows the response characteristic in MTJ70B containing tunnel (that is, based on oxidizing method I-2) barrier layer 30B using the thickness $t_2=0.3nm$ aluminum film as 2nd barrier layer 34B before oxidation treatment, using the thickness $t_1=0.4nm$ aluminum film as 1st barrier layer 32B before oxidation treatment. Furthermore, drawing 17 shows the response characteristic in MTJ70A containing tunnel (that is, based on oxidizing method I-1) barrier layer 30A using the thickness $t_2=0.4nm$ aluminum film as 2nd barrier layer 34A before oxidation treatment, using the thickness $t_1=0.3nm$ aluminum film as 1st barrier layer 32A before oxidation treatment. As shown in drawing 15 -17, when it is referred to as $t_0=0.7nm$, the difference by the oxidation style is accepted about the response characteristic over a magnetic field H .

[0111] The difference by the single oxidation style, the oxidation style I-1, and the oxidation style I-2 appeared in the response characteristic of the TMR ratio to a magnetic field H , and the junction resistance R as described above. For example, when drawing 16 and drawing 17 are referred to and it has the thickness not more than thickness t_2 of the 2nd barrier layer 34 before the thickness t_1 of the 1st barrier layer 32 before oxidation treatment oxidizing, in the case of the oxidation style I-1 ($t_1 \leq t_2$), the MTJ component 70 shows the bigger bond resistance R than the case of an oxidation style I-2 ($t_1 > t_2$). The aluminum film (2nd barrier layer 34 before oxidation treatment) with which this was formed on the AlOx film (1st barrier layer 32) has crystal growth better than the case where it is directly formed on a ferromagnetic layer, and means that can obtain the film without far-reaching micropore, consequently the 2nd AlOx film (2nd barrier layer 34) with very few pinholes is formed.

[0112] Drawing 18 is the explanatory view showing the result of having investigated the relation between a sense current and bias voltage in the MTJ component 70 equipped with the tunnel barrier layer 30 which consists of AlOx of the MTJ component 170 equipped with the tunnel barrier layer 130 which consists of AlOx by the conventional single oxidizing method, and the two-layer structure by the method I of oxidizing the gestalt of the 1st operation. An axis of ordinate shows a sense current (A), and an axis of abscissa shows bias voltage (V). In this investigation, from

THIS PAGE BLANK (USPTO)

the up electrical-and-electric-equipment lead 60, the direction impressed to the lower electrical-and-electric-equipment lead 10 was made into positive bias, and it displayed by “**” or “-” in the explanatory view. On the other hand, from the lower electrical-and-electric-equipment lead 10, the direction impressed to the up electrical-and-electric-equipment lead 60 was made into negative bias, and it displayed by “**” or “O” in the explanatory view. According to drawing 18, the MTJ component 170 by the single oxidation style displayed by “**” and “**” shows that the response characteristic excellent in the direction of the MTJ component 70 by the oxidation style I displayed by “-” and “O” is acquired. That is, in the tunnel barrier layer formed by dividing oxidation treatment into multiple times and performing it, it does not depend in the direction of bias, but a more symmetrical sense current-bias voltage curve is obtained.

[0113] Drawing 19 is the schematic drawing showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer 130 formed by the conventional single oxidizing method. As shown in drawing 19, the profile of the obstruction height by the single oxidation style is unsymmetrical, and a top face differs in obstruction height greatly from a base. That is, the obstruction height $\phi 2$ on top is more remarkably [than the obstruction height $\phi 1$ at the bottom] larger. In the MTJ component 170 interior, the top face of the tunnel barrier layer 130 touched the strong magnetic pinned layer 142, and the base is in contact with the ferromagnetic free layer 124. The cause by which the profile of obstruction height becomes unsymmetrical is related to especially the soft oxidation approach like natural oxidation. Since the top face of the tunnel barrier layer 130 will contact oxygen gas more directly when it is exposed to an oxygen ambient atmosphere, its oxygen atom distributed near the tunnel barrier layer top face increases in number. On the other hand, there are few oxygen atoms distributed near the base, and they do not fully oxidize. According to such a cause, as shown in drawing 19, the asymmetry of an obstruction height profile arises.

[0114] On the other hand, drawing 20 is the schematic drawing showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer 30 formed by the method I of oxidizing the gestalt of this operation. As shown in drawing 20, the profile of the obstruction height by the oxidation style I has good symmetric property, and its difference of the obstruction height $\phi 2$ on top and the obstruction height $\phi 1$ at the bottom is smaller than the profile by the single oxidation style of drawing 18. Namely, according to the approach of carrying out additional formation of the 2nd aluminum oxide film (2nd barrier layer 34), after forming the 1st aluminum oxide film (1st barrier layer 32) While a thin (the thickness before oxidation treatment (for example, the thickness of the aluminum film)) part and the annealing treatment by heating advance, an oxygen atom can carry out internal diffusion, oxidation treatment progresses near the base, and, therefore, the symmetric property of an obstruction height profile is improved.

[0115] <the effectiveness in the gestalt of the 1st operation> — as mentioned above, since the tunnel barrier layer was formed with the application of two steps of oxidization processes according to the gestalt of this operation, compared with the conventional method of oxidizing at once, the tunnel barrier layer 30 which has uniform insulation according to the thickness direction can be formed. Therefore, the danger of pinhole generating is reduced and the MTJ component 70 equipped with the thinner tunnel barrier layer 30 can be offered.

[0116] furthermore, the tunnel barrier layer 30 which has uniform insulation according to the thickness direction compared with the conventional method of oxidizing at once according to the gestalt of this operation — formation — since things are made, the difference of the obstruction height $\phi 2$ in the base of the tunnel barrier layer 30 and the obstruction height $\phi 1$ in a top face can be made small. That is, the thickness direction symmetry of the more excellent obstruction height is acquired, and, for this reason, it is not influenced in the direction of bias, but it becomes possible to obtain the MTJ component 70 used as the almost same sense current-bias voltage curve.

[0117] [The gestalt of the 2nd operation], next the gestalt of operation of the 2nd of this invention are explained.

[0118] As mentioned above, the gestalt of the 1st operation divides the formation process of a tunnel barrier layer into two steps, repeats the procedure of membrane formation and oxidation treatment of a metal membrane or the nonmetal film twice, and is made to perform it. On the other hand, at the point which divides the formation process of a tunnel barrier layer into two steps, although the gestalt of this operation is the same, after it forms a ferromagnetic layer on the 2nd barrier layer rather than oxidizes the 2nd barrier layer which is a metal membrane or the nonmetal film in an oxygen ambient atmosphere, it is made to carry out oxidation treatment of the 2nd barrier layer by diffusing the oxygen atom which exists in the interior.

[0119] Hereafter, with reference to drawing 21 -28, the magnetic tunnel junction component, its manufacture approach, the magnetic tunnel junction mold head, and its manufacture approach of a gestalt of this operation are explained. Here, it supposes that only a different description part from the gestalt of the above-mentioned implementation is explained, in addition explanation is suitably omitted about the same part. Similarly, also in drawing 21 -28, about the same part, the same sign is substantially attached with the component of the gestalt (drawing 2 -20) of implementation of the above 1st, and explanation is omitted suitably.

[0120] <Configuration of MTJ component> drawing 21 and drawing 22 are the outline sectional views of MTJ section 70C and 70C' formed by the oxidation style II concerning the gestalt of this operation. Drawing 21 shows MTJ component 70C equipped with the strong magnetic pinned layer 42 on the tunnel barrier layer 31, and drawing 22 shows MTJ section 70C' which equipped the bottom of tunnel barrier layer 31' with strong magnetic pinned layer 42'. ** which gives the same sign to the same component as drawing 4 and drawing 5 in drawing 21 and drawing 22. As shown in drawing 21, in MTJ component 70C, the seed layer 22, the ferromagnetic free layer 24, the tunnel barrier layer 31, the strong magnetic pinned layer 42, the antiferromagnetism layer 44, and the protective layer 46 have structure by which the laminating was carried out to this order. The tunnel barrier layer 31 is divided into two more layers, the 1st barrier layer 35 is formed so that the ferromagnetic free layer 24 may be touched, and the 2nd barrier layer 36 is formed on it. On the other hand, MTJ component 70C' which is the modification of MTJ

TWO PAGE BLANK (USPTO)

component 70C has the structure where the laminating of seed layer 22', the template layer 25, antiferromagnetism layer 44', strong magnetic pinned layer 42', tunnel barrier layer 31', ferromagnetic free layer 24', and protective layer 46' was carried out to this order, as shown in drawing 22. Too, tunnel barrier layer 31' is formed from two layers. The 1st barrier layer 37 is formed so that strong magnetic pinned layer 42' may be touched, and the 2nd barrier layer 38 is formed on it. In addition, substantially, since the MTJ head equipped with these MTJ(s) component 70C and 70C' is equivalent, it abbreviates explanation to the gestalt of the 1st operation.

[0121] The manufacture approach of MTJ component 70C by the <manufacture approach of a MTJ component>, then the oxidation style II concerning the gestalt of this operation and 70C' is explained below with reference to drawing 21 and drawing 22. In an oxidation style II, like an oxidation style I, after carrying out the laminating of a metal membrane or the nonmetal film, the 1st barrier layer 35 and 37 is obtained by oxidizing. The structure (drawing 21) where the tunnel barrier layer 31 is fixed on the ferromagnetic free layer 24 is more desirable. Next, a laminating is carried out on the 1st barrier layer 35 and 37 after oxidizing the 2nd barrier layer 36 and 38 which is a metal membrane or the nonmetal film. As for especially the thickness of the 2nd barrier layer 36 and 38, it is desirable that it is the range of 0.1–0.4nm 0.4nm or less. As for the 1st barrier layer 35 and 37 and the 2nd barrier layer 36 and 38, it is desirable that at least one of aluminum, a tantalum, nickel, titanium, a hafnium, magnesium, silicon, a zirconium, and galliums is included.

[0122] Next, the laminating of the up electrode layered product 40 and 40' is carried out on the 2nd barrier layer 36 and 38. Besides, annealing treatment of the section electrode layered product 40 and 40' is preferably carried out at the temperature of less than 300 degrees C, and the 2nd barrier layer 36 and 38 on the 1st barrier layer 35 and 37 oxidizes by the internal diffusion of oxygen. In this case, since the 2nd barrier layer 36 and 38 is not heated under an oxygen ambient atmosphere, most oxidizes freely. How to carry out the laminating of other barrier layers, and oxidize in front of a protective layer 46 and the laminating of 46', as other approaches, is also considered. In this case, the 1st barrier layer 35 and 37 before oxidation treatment has the thickness more than the thickness of other barrier layers by which a laminating is carried out on them.

[0123] <Evaluation of tunnel barrier layer> drawing 23 is the explanatory view showing the result of having compared the TMR ratio, about the MTJ component 170 by the conventional single oxidation style, and MTJ component 70C by the oxidation style II. An axis of ordinate shows a TMR ratio, the upper axis of abscissa shows the thickness t_4 of the 2nd barrier layer 36 before added oxidation treatment, and a lower axis of abscissa shows the total thickness t_{10} showing the sum total of the thickness t_3 of the 1st barrier layer 35 before oxidation treatment, and the thickness t_4 of the 2nd barrier layer 36 further. In addition, the aluminum film was used for the 1st and 2nd barrier layers 35 and 36. As shown in drawing 23, when the total thickness t_{10} increases to 1nm from 0.7nm in the case of the conventional single oxidation style, a TMR ratio shows a linear reduction. On the other hand, in case the total thickness t_{10} changes to 0.9nm from 0.8nm in the case of an oxidation style II, a TMR ratio decreases greatly.

[0124] Drawing 24 shows the result of having compared change of the product (following, RxA) of junction resistance and a plane-of-composition product, about the MTJ components 170 and 70C evaluated by drawing 23. An axis of ordinate shows RxA (ohmmum²), the thickness t_4 of the 2nd barrier layer 36 before oxidation treatment to which the upper axis of abscissa was added is shown, and the total thickness t_{10} which expresses the sum total of the thickness t_3 of the 1st barrier layer 35 before a lower axis of abscissa oxidizing and the thickness t_4 of the 2nd barrier layer 36 further is shown. As shown in drawing 24, when being based on an oxidation style II, RxA smaller than a single oxidation style is shown. If the total thickness t_{10} increases from 0.9nm to 1.0nm according to the single oxidation style, junction resistance will increase greatly. In an oxidation style II, RxA smaller than a single oxidation style is obtained in the range at least whose total thickness t_{10} is 0.7–1.0nm. Therefore, when the total thickness t_{10} is the same, MTJ component 70C which inserted the 2nd very thin barrier layer 36, and was formed shows a TMR ratio comparable as the MTJ component 170 by the single oxidation style, and shows RxA smaller than it.

[0125] As shown in drawing 24, the increment in RxA means that the 2nd barrier layer 36 has oxidized. However, although the oxidation style II by this internal diffusion is very loose oxidation compared with the conventional single oxidation style, since the oxygen content is restricted, RxA of the tunnel barrier layer 31 formed by the oxidizing method II becomes smaller than a single oxidation style. The above-mentioned description in the oxidizing method II by internal diffusion leads to a sharp reduction of the TMR ratio of the 2nd barrier layer 36 inserted on the 1st barrier layer 35 also with regards to metal atoms, such as aluminum, remaining in the interface of the tunnel barrier layer 31 and a ferromagnetic layer.

[0126] After carrying out annealing treatment of drawing 25 at 250 degrees C for 5 hours, it is the explanatory view showing the sense current-bias voltage curve in MTJ component 70C equipped with the tunnel barrier layer 31 formed by the oxidizing method II. An axis of ordinate shows a sense current (mA), and an axis of abscissa shows bias voltage (V). Here, thickness t_3 was fixed to 0.7nm, and it changed 0.1nm of thickness t_4 at a time from 0.0nm to 0.4nm. As shown in drawing 25, it turns out by thickening thickness t_4 that the symmetric property of the tunnel barrier layer 31 is improved. That is, it follows on the thickness t_4 of the 2nd aluminum film (2nd barrier layer 36 before oxidation treatment) increasing from 0, and the difference by the direction of bias is small. Thickness t_4 means that, as for saying [0], the 2nd barrier layer 36 does not exist here. As for annealing treatment, it is desirable to be carried out in 300 degrees C or more and 5 hours or less.

[0127] Drawing 26 is the schematic drawing showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer 130 formed by the conventional single oxidizing method. On the other hand, drawing 27 is the schematic drawing showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer 31 formed by the oxidizing method II by the

THIS PAGE BLANK (USPTO)

gestalt of this operation. As shown in drawing 26, the profile of a single oxidation style is unsymmetrical and the obstruction height $\phi 2$ on top is remarkably large from the obstruction height $\phi 1$ at the bottom. As shown in drawing 27 on the other hand, the profile of an oxidation style II has the difference of the obstruction height $\phi 2$ on top and the obstruction height $\phi 1$ at the bottom smaller than the profile of a single oxidation style. Like the gestalt of the 1st operation, this result is based on the effectiveness of the internal diffusion of the oxygen in the tunnel barrier layer 31, and is a symmetric-property improvement and match of a sense current-bias voltage curve. [0128] Drawing 28 is a resistance difference [as opposed to / layer / which was formed by the single oxidizing method, the oxidizing method I, and the oxidizing method II / tunnel barrier / bias voltage.] $[abs(R+-R-)/] (R++R-)$. It is the explanatory view showing change. Here, it is $R+$. The junction resistance of the tunnel barrier layer to bias voltage is shown, and it is $R-$. The junction resistance of the tunnel barrier layer to the bias voltage of the opposite direction is shown. An axis of ordinate shows a resistance difference (%), and an axis of abscissa shows bias voltage (V). The display of "***" shows the result of the tunnel barrier layer 130 by the conventional single oxidizing method. The display of "<>, O, **, -" shows the result of the tunnel barrier layer 31 which added the 2nd aluminum film (2nd barrier layer 36 before oxidation treatment) of the thickness which changes with oxidizing methods II. "***" is a result about the tunnel barrier layer 30 formed by the oxidizing method I. As shown in drawing 28, in the case of the oxidizing methods I and II, compared with the single oxidizing method, the resistance difference over bias voltage is remarkably low. This shows that the profile symmetric property of the obstruction height of the tunnel barrier layers 30 and 31 in the MTJ components 70 and 70C formed by the oxidizing methods I and II has been improved. In this case, the bias voltage range of a tunnel barrier layer is 0-500mV, and it is the resistance difference $[abs(R+-R-)/] (R++R-)$ of the bias voltage of positive/negative. It is desirable to be formed so that it may be less than 3%. [0129] <the effectiveness in the gestalt of the 2nd operation> — as mentioned above according to the gestalt of this operation Since it was made to perform oxidation treatment of the 2nd barrier layer 36 and 38 by diffusing the oxygen which divides the formation process of a tunnel barrier layer into two steps, and is contained in the 1st barrier layer 35 and 37 Compared with the gestalt of the 1st operation, the difference of the obstruction height $\phi 2$ in the base of a tunnel barrier layer and the obstruction height $\phi 1$ in a top face can be made smaller. That is, it becomes possible to obtain the MTJ component used as the almost same sense current-bias voltage curve which the thickness direction symmetry of obstruction height improves further, and is not influenced in the direction of bias.

[0130] In order to carry out an additional indication for various gestalten of this invention, the following reference is mentioned as bibliography.

[0131] The United States patent application by Olivier Redon and others for whom it applied with the reference on July 20, 2000 "Magnetic Tunnel Junction Read Head Using Hybrid and Low Magnetization Flux Guide (they are the specification of the magnetic tunnel junction reproducing head" (it corresponds to 192 and No. 320 the 60th/of the U.S. temporary application for which it applied on March 27, 2000) using a hybrid low magnetization flux guide, and its drawing.) This invention aims at the design of the reproducing head which makes a TMR ratio max by choosing the ingredient equipped with the greatest spin polarization. In this reproducing head, the effectiveness of a flux guide can be raised to the maximum using a hybrid low magnetization ingredient, and a big signal output can be attained.

[0132] As mentioned above, although the gestalt of each above-mentioned operation was mentioned and this invention was explained, this invention is not limited to the gestalt of the above-mentioned implementation, but is variously deformable. For example, although formed with the gestalt of this operation by oxidizing the film which contains aluminum for a tunnel barrier layer, it is not limited to this. Moreover, although the tunnel barrier layer was divided and formed in two steps with the gestalt of this operation, it subdivides further, and the 3rd barrier film and the barrier film beyond it can be added, a multistage story can be oxidized, and a more homogeneous tunnel barrier layer can also be generated. In this case, as for the barrier film added, it is desirable to make it become thin gradually.

[0133]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the manufacture approach of a magnetic tunnel junction component given in any 1 term of a magnetic tunnel junction component given in any 1 term of claim 1 thru/or claim 13 and claim 14 thru/or claim 38 Since it was made for a tunnel barrier layer to contain the 1st barrier layer by which it was oxidized, and the 2nd barrier layer, compared with the conventional tunnel barrier layer containing the single barrier layer in which it was oxidized, the tunnel barrier layer which has uniform insulation according to the thickness direction can be obtained. Therefore, while being able to improve the symmetric property of an electrical property and raising ESD and a TDDDB property, a TMR ratio can be raised, maintaining a low bond resistance under a room temperature. Therefore, in the equipment of a hard disk drive or others, it can apply to binary data playback of a high density magnetic-recording medium, and, of course, other magnetic field detection devices can be further applied also to other devices and environments of the same kind. Furthermore, a percent defective can be reduced and efficient mass production method is attained.

[0134] According to the manufacture approach of a magnetic tunnel junction mold head according to claim 39, claim 40, and a magnetic tunnel junction mold head according to claim 41 Since it was made for the tunnel barrier layer of a magnetic tunnel junction component to contain the 1st barrier layer by which it was oxidized, and the 2nd barrier layer Compared with the conventional tunnel barrier layer containing the single barrier layer in which it was oxidized, the magnetic tunnel junction mold head equipped with the tunnel barrier layer which has uniform insulation according to the thickness direction can be obtained. Therefore, while having the electrical property excellent in symmetric property and having high performance characteristics also to ESD and TDDDB, the reproducing head which shows a

THIS PAGE BLANK (USPTO)

low bond resistance and a high TMR ratio under a room temperature is obtained. This magnetic tunnel junction mold head is applicable to binary data playback of the high density magnetic-recording medium of a hard disk drive or others. Furthermore, a percent defective can be reduced and efficient mass production method is attained.

[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the top view of the MTJ head concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 2] It is the fragmentary sectional view of the MTJ head of drawing 1.

[Drawing 3] The sectional view in the modification of the MTJ head concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention is shown.

[Drawing 4] It is the sectional view of the MTJ component in the MTJ head concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention shown in drawing 2.

[Drawing 5] It is the sectional view of the MTJ component in the MTJ head concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention shown in drawing 3.

[Drawing 6] It is the sectional view of the tunnel barrier layer formed by the conventional single oxidizing method.

[Drawing 7] It is the sectional view of the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method I concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 8] It is the property Fig. showing the thickness dependency of the tunnel barrier layer of the junction resistance in the MTJ component concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 9] It is the property Fig. showing the thickness dependency of the tunnel barrier layer of the TMR ratio in the MTJ component concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 10] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.5nm by the conventional single oxidizing method, and junction resistance.

[Drawing 11] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.5nm by the oxidizing method I-2 concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention, and junction resistance.

[Drawing 12] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.6nm by the conventional single oxidizing method, and junction resistance.

[Drawing 13] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.6nm by the oxidizing method I-2 concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention, and junction resistance.

[Drawing 14] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.6nm by the oxidizing method I-1 concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention, and junction resistance.

[Drawing 15] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.7nm by the conventional single oxidizing method, and junction resistance.

[Drawing 16] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.7nm by the oxidizing method I-2 concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention, and junction resistance.

[Drawing 17] It is a response curve to the magnetic field of the TMR ratio in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer with a thickness of 0.7nm by the oxidizing method I-1 concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention, and junction resistance.

[Drawing 18] It is the property Fig. showing the bias voltage-sense current characteristic in the MTJ component equipped with the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method I concerning the conventional single oxidizing method and the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 19] It is the schematic diagram showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer formed by the conventional single oxidizing method.

[Drawing 20] It is the schematic diagram showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method I concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 21] It is the sectional view of the MTJ component equipped with the strong magnetic pinned layer on the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method II concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 22] It is the sectional view of the MTJ component which equipped with the strong magnetic pinned layer the bottom of the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method II concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 23] It is the property Fig. showing the TMR ratio to the thickness of the aluminum layer in the MTJ component containing the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method II concerning the gestalt of operation

THIS PAGE BLANK (USPTO)

of the 2nd of this invention.

[Drawing 24] It is the property Fig. showing the junction resistance over the thickness of the aluminum layer in the MTJ component containing the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method II concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 25] It is the property Fig. showing the bias voltage-sense current characteristic of the MTJ component by the oxidizing method II concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 26] It is the schematic diagram showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer formed by the conventional single oxidizing method.

[Drawing 27] It is the schematic diagram showing the profile of the obstruction height of the tunnel barrier layer formed by the oxidizing method II concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 28] In the MTJ component containing the tunnel barrier layer formed by the oxidizing methods I and II concerning the gestalt of the 1st and operation of the 2nd of the conventional oxidation style and this invention, it is the property Fig. showing the resistance difference over bias voltage.

[Description of Notations]

1 [— Lower electrode layered product,] -- A MTJ head, 9 — A substrate, 10 — A lower electrical-and-electric-equipment lead, 20 22 [— Tunnel barrier layer,] -- A seed layer, 23 — The magnetization direction, 24 — 30 A ferromagnetic free layer, 31 32, 35, 37 [-- A strong magnetic pinned layer, 44 / — An antiferromagnetism layer 46 / — A protective layer, 50 / — An insulator, 60 / -- An up electrical-and-electric-equipment lead, 70 / — MTJ component] — The 1st barrier layer, 34, 36, 38 — The 2nd barrier layer, 40 -- An up electrode layered product, 42

[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-232040
(P2002-232040A)

(43) 公開日 平成14年8月16日 (2002.8.16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		H 0 1 F 10/32	5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/32		41/32	
41/32		H 0 1 L 43/12	
審査請求 未請求 請求項の数41 O L (全 21 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-352008(P2001-352008)
(22) 出願日 平成13年11月16日 (2001.11.16)
(31) 優先権主張番号 60/249266
(32) 優先日 平成12年11月17日 (2000.11.17)
(33) 優先権主張国 米国 (U S)
(31) 優先権主張番号 09/903697
(32) 優先日 平成13年7月13日 (2001.7.13)
(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 000003067
ティーディーケー株式会社
東京都中央区日本橋1丁目13番1号
(72) 発明者 孫 吉寛
東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内
(72) 発明者 荒木 悟
東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内
(74) 代理人 100109656
弁理士 三反崎 泰司 (外1名)

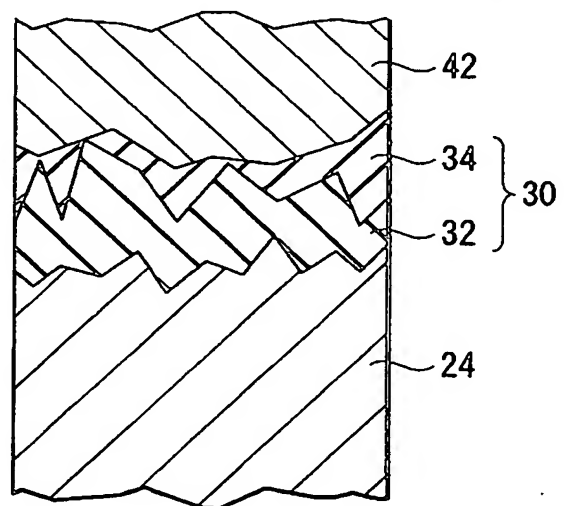
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気トンネル接合素子およびその製造方法ならびに磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 室温下においても高TMR比かつ、低抵抗が得られると共に、電気特性の対称性に優れるMTJ素子およびMTJヘッドならびにそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】 MTJ素子70は、第1の強磁性層24と、トンネルバリア層30と、第2の強磁性層42とが順に積層される工程を含む。トンネルバリア層30は、第1の強磁性層24上に金属層もしくは非金属層を形成し、酸化処理することにより第1の薄膜32を形成する工程と、第1の薄膜32上に第2の薄膜34を形成する工程とによって形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 印加された磁場を検出するための磁気トンネル接合素子であって、
第1の強磁性層と、
第2の強磁性層と、
前記第1および第2の強磁性層に挟まれ、これらの2つの層と接するトンネルバリア層とを備え、前記トンネルバリア層は酸化処理が施された第1のバリア層と、第2のバリア層とを含むことを特徴とする磁気トンネル接合素子。

【請求項2】 前記第2のバリア層は酸化処理が施されたものであることを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項3】 前記第1のバリア層は、前記第2のバリア層の厚み以上の厚みを有していることを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項4】 さらに、前記第2のバリア層上に少なくとも1層の他のバリア層を備えることを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項5】 前記第1のバリア層は、前記他のバリア層のいずれよりも厚いか、または同等であることを特徴とする請求項4に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項6】 前記第1の強磁性層は、外部磁場により磁化方向が自由に変化する強磁性フリー層であることを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項7】 前記第1のバリア層の厚みは、0.6 nm以下であることを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項8】 前記第1および第2のバリア層のうち少なくとも一方が、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、タンタル(Ta)、ニオブ(Nb)、銅(Cu)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、ボロン(B)、炭素(C)、アルミニウム(Al)、タングステン(W)、シリコン(Si)、チタン(Ti)、バナジウム(V)、ルテニウム(Ru)、レニウム(Re)、ジルコニウム(Zr)およびガリウム(Ga)からなる群のうち少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項9】 前記第1および第2のバリア層のうち少なくとも一方が、アルミニウム(Al)、タンタル(Ta)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、ハフニウム(Hf)、マグネシウム(Mg)、シリコン(Si)、ジルコニウム(Zr)およびガリウム(Ga)からなる群のうち少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項10】 前記第2のバリア層はアニール処理されたものであることを特徴とする請求項1の磁気トンネル接合素子。

【請求項11】 前記第2のバリア層の厚みは、0.4 nm以下であることを特徴とする請求項1に記載の磁気

トンネル接合素子。

【請求項12】 前記トンネルバリア層の厚みは、1.5 nm以下であることを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項13】 前記トンネルバリア層は、0から500 mVの範囲のバイアス電圧を印加した場合において、正のバイアス電圧と負のバイアス電圧との抵抗差 $\left[\frac{a b s (R^{+} - R^{-})}{(R^{+} + R^{-})} \right]$ が3%未満であることを特徴とする請求項1に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項14】 印加された磁場を検出するための磁気トンネル接合素子を製造する方法であって第1の強磁性部分を形成する工程と、

前記第1の強磁性部分の上にトンネルバリア部分を形成する工程と、

前記トンネルバリア部分上に第2の強磁性部分を形成する工程とを含み、

前記トンネルバリア部分の形成工程は、

前記第1の強磁性部分上に第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、

前記第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成する工程とを含むことを特徴とする磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項15】 前記トンネルバリア部分形成工程は、酸化処理後の第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成した後、酸化処理する工程を含むことを特徴とする請求項14に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項16】 前記トンネルバリア部分形成工程は、前記第2のバリア部分を形成した後、さらに、第2のバリア部分上に少なくとも1層の他のバリア部分を形成する工程を含むことを特徴とする請求項15に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項17】 前記第1のバリア部分は、前記第2のバリア部分の厚み以上の厚みを有することを特徴とする請求項14に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項18】 前記第1のバリア部分は、前記第2のバリア部分および前記他のバリア部分のいずれよりも厚いか、または同等であることを特徴とする請求項16に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項19】 前記第1の強磁性部分は強磁性フリー部分であることを特徴とする請求項14に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項20】 前記第1のバリア部分の厚みは、0.6 nm以下であることを特徴とする請求項14に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項21】 前記第1および第2のバリア部分のうち少なくとも一方が、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、タンタル(Ta)、ニオブ(Nb)、銅(Cu)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、ボロン(B)、炭素(C)、アルミニウム(Al)、タングス

テン(W)、シリコン(Si)、チタン(Ti)、バナジウム(V)、ルテニウム(Ru)、レニウム(Re)、ジルコニウム(Zr)およびガリウム(Ga)からなる群のうち少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項22】 前記第1および第2のバリア部分のうち少なくとも一方が、アルミニウム(Al)、タンタル(Ta)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、ハフニウム(Hf)、マグネシウム(Mg)、シリコン(Si)、ジルコニウム(Zr)およびガリウム(Ga)からなる群のうち少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項23】 前記第2のバリア部分の厚みが、0.4nm以下であることを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項24】 前記他のバリア部分の最上層の厚みが、0.4nm以下であることを特徴とする請求項16記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項25】 前記トンネルバリア部分の厚みは、1.5nm以下であることを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項26】 さらに、前記第2の強磁性部分を形成した後、前記トンネルバリア部分を加熱する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項27】 前記加熱工程では、300℃未満で加熱処理することを特徴とする請求項26記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項28】 前記第1および第2の強磁性部分は、コバルト(Co)、鉄(Fe)およびニッケル(Ni)からなる群のうち少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項29】 さらに、前記第1および第2の強磁性部分のいずれか一方に隣接するように反強磁性部分を形成する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項30】 前記第1および第2の強磁性部分のうち少なくとも一方を形成する工程において、第1の強磁性層と、非磁性金属層と、第2の強磁性層とを順に形成する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子製造方法。

【請求項31】 前記第1および第2の強磁性部分のうち少なくとも一方を形成する工程において、第1および第2の強磁性層と、それらの間に挟まれる非磁性金属層とを形成する工程を含み、この工程は、コバルト(Co)、コバルト(Co)合金およびニッケル鉄(NiFe)合金を含む材料を用い、トンネルバリア部分に隣接するように前記第1および第2の強磁性層のうち一方の強磁性層を形成するステップと、ニッケル鉄(NiFe)合金もしくは、ニッケル鉄合金

にクロム(Cr)、タンタル(Ta)、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)およびジルコニウム(Zr)からなる群のうち少なくとも1種を添加してなる合金を用いて前記第1および第2の強磁性層のうち他方の強磁性層を形成するステップとを含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項32】 さらに、タンタル(Ta)、クロム(Cr)、チタン(Ti)、ニッケルクロム(NiCr)合金およびニッケルクロム鉄(NiFeCr)合金からなる群のうち少なくとも1種を有するシード層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項33】 さらに、銅(Cu)、アルミニウム(Al)およびニッケル鉄(NiFe)合金からなる群のうち少なくとも1種を含む第1および第2の電気リード層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項34】 前記トンネルバリア部分を、バイアス電圧が0から500mVの範囲の場合に、正のバイアス電圧と負のバイアス電圧との抵抗差 $[a b s (R^+ - R^-) / (R^+ + R^-)]$ が3%未満となるように形成することを特徴とする請求項14記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項35】 第1の強磁性部分を形成する工程と、前記第1の強磁性部分上に、トンネルバリア部分および第2の強磁性部分をこの順に形成する工程とを含み、前記トンネルバリア部分の形成工程は、前記第1の強磁性部分上に0.6nm以下の厚みを有する第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、前記第1のバリア部分上に0.4nm以下の厚みを有する第2のバリア部分を形成する工程とを含むことを特徴とする磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項36】 前記トンネルバリア部分形成工程は、酸化処理後の前記第1のバリア部分上に0.4nm以下の厚みを有する第2のバリア部分を形成し、酸化処理する工程を含むことを特徴とする請求項35記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項37】 前記第1と第2のバリア部分のうち少なくとも一方が、アルミニウム(Al)、タンタル(Ta)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、ハフニウム(Hf)、マグネシウム(Mg)、シリコン(Si)、ジルコニウム(Zr)およびガリウム(Ga)からなる群のうち少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項35記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項38】 前記第2の強磁性部分を形成した後、300℃未満の温度で5時間以内の加熱処理をする工程を含むことを特徴とする請求項35記載の磁気トンネル接合素子の製造方法。

【請求項39】 磁気トンネル接合素子を用いて磁気記録媒体に磁気的に記録されたデータを検出する磁気トン

ネル接合型ヘッドであって、
第1の強磁性層と、
前記第1の強磁性層上に接するトンネルバリア層と、
前記トンネルバリア層上に接する第2の強磁性層とを備え、
前記トンネルバリア層は、
酸化処理を施された第1のバリア層と、
第2のバリア層とを含むことを特徴とする磁気トンネル接合型ヘッド。

【請求項40】 磁気トンネル接合素子を用いて磁気記録媒体に磁気的に記録されたデータを検出する磁気トンネル接合型ヘッドを製造する方法であって第1の強磁性部分を形成する工程と、
前記第1の強磁性部分上に、トンネルバリア部分および第2の強磁性部分をこの順に形成する工程とを含み、前記トンネルバリア部分形成工程は、
前記第1の強磁性部分上に第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、
酸化処理後の前記第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成する工程とを含むことを特徴とする磁気トンネル接合型ヘッドの製造方法。

【請求項41】 磁気トンネル接合素子を用いて磁気記録媒体に磁気的に記録されたデータを検出する磁気トンネル接合型ヘッドを製造する方法であって、
第1の強磁性部分と、トンネルバリア部分と、第2の強磁性部分とをこの順に形成する工程を含み、前記トンネルバリア部分の形成工程は、
前記第1の強磁性部分上に0.6nm以下の厚みを有する第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、
酸化処理後の前記第1のバリア部分上に0.4nm以下の厚みを有する第2のバリア部分を形成する工程とを含むことを特徴とする磁気トンネル接合型ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気記録媒体に磁気的に記録されたデータを検出する磁気トンネル接合（magnetic tunnel junction: MTJ）素子およびその製造方法ならびに、その磁気トンネル接合素子を備える磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法に関し、特に、均一性、対称性に優れるトンネルバリア層を有する磁気トンネル接合素子およびその製造方法ならびに、その磁気トンネル接合素子を備える磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、異方性磁気抵抗（Anisotropic Magneto-Resistance, 以下、AMR）効果あるいはスピンバルブ（Spin-Valve, 以下、SV）効果に基づいた磁気抵抗（Magneto-Resistive, 以下、MR）素子は、磁気記録媒体を再生するための再生変換器（トランスデューサ）として広く用いられている。このようなMR素子は、磁性材料よりなる再生ヘッド部で生じる抵抗変化を利用して、記録媒体に記録された信号の変化によって生じる漏洩磁界を検出するものである。AMR効果を利用したMR素子（すなわち、AMR素子）の磁気抵抗変化率 $\Delta R/R$ は低く、一般に1～3%程度である。これに対し、同じ磁場を印加した場合のSV素子の $\Delta R/R$ は一般に2～7%に及ぶ。このような高感度SV素子を用いた再生ヘッドは非常に高い記録密度へ対応することができ、その記録密度は、1平方インチあたり数ギガ・ビット以上（数Gbits/in²以上、1Gbits/in²≒6.45Gbits/cm²）になる。従って、SV型再生ヘッドは次第にAMR再生ヘッドに取って代わるようになった。

【0003】基本的なSV素子は、米国特許第5,159,513号に記載されているように、2つの強磁性層が非磁性層によって隔てられている構造を有している。さらに、このSV素子では、2つの強磁性層のうちの1つに隣接するように、例えば、鉄マンガン（FeMn）合金で形成された交換結合層（ピン止め層）が形成されている。交換結合層とこれに隣接する強磁性層との間には交換結合が生じ、その強磁性層の磁化方向が特定の方向へ強くピン止め、すなわち固定されている。この磁化方向が固定された強磁性層は強磁性ピン層と呼ばれる。他方の強磁性層、つまり強磁性フリー層の磁化方向は、小さな外部磁場に応じて自由に回転する。このようなSV素子では、2つの強磁性層の磁化方向が、平行から反平行状態に変化するにつれて電気抵抗が増加するようになっており、これにより、比較的高い抵抗変化率（MR比）が得られる。

【0004】上記のAMR素子やSV素子とは異なるタイプのMR素子として、トンネル磁気抵抗効果（Tunneling Magneto-Resistance, TMR）を利用する素子がある。これはJulliereによる「強磁性薄膜間におけるトンネル効果」（“Tunneling Between Ferromagnetic Films”, Physics Letters, 54A225, 1975）に記載されている。このようなTMRを利用するMR素子は、磁気トンネル接合（Magnetic Tunnel Junction, MTJ）素子、あるいは磁気抵抗トンネル接合（Magneto-Resistive Tunnel Junction, MRTJ）素子として知られている。SV素子と同様、MTJ素子は、2つの強磁性層（電極層）によって薄い絶縁層を挟み込んだ構造を有している。2つの強磁性層のうち、一方の強磁性層は特定方向に固定された磁気モーメントを有する強磁性ピン層であり、もう一方の強磁性層は外部磁場に応じて自由に回転する磁気モーメントを有する強磁性フリー層（センス層とも呼ばれる）である。SV素子と異なり、MTJ素子の動作は、CPP（current perpendicular to the plane）型と呼ばれる。つまり、MTJ素子を通るセンス電流は、積層膜の厚み方向つまり、成膜面に対して垂

直方向に流れるのである。このセンス電流は、MTJ素子の2つの強磁性層にバイアス電圧を印加することにより生じる。このセンス電流は、電子がトンネルバリア層をトンネル効果により通過することで得られる。このため、トンネルバリア層は電子のトンネル効果が得られるよう十分に薄くなっている。

【0005】電子が絶縁層を通過するプロセスはスピン分極状態に強く依存する。すなわち、MTJ素子を流れるセンス電流は、2つの強磁性層（強磁性ピンド層および強磁性フリー層）のスピン分極状態と、磁気モーメント（磁化方向）の相対的な方向とに左右される。2つの強磁性層は、外部磁場に対して異なる反応を示すので、外部磁場に応じてこれら2つの強磁性層における相対的な磁化方向を変えることができる。

【0006】センス電流が第1の強磁性層を通過すると、電子はスピン分極化される。2つの強磁性層の磁化方向が互いに反平行な場合は、トンネルバリア層を介した電子トンネル効果が得られる確率は低下し、その結果、センス電流は流れにくくなり、大きな接合抵抗 R_{ap} が得られる。一方、2つの強磁性層の磁化方向が互いに平行な場合、電子トンネル効果が得られる確率は高くなり、センス電流が流れやすくなるので、これにより、小さな接合抵抗 R_p が得られる。両方の強磁性層の磁化方向が互いに直交な状態、すなわち、平行状態と反平行状態との中間の状態では、接合抵抗 R_m は R_{ap} と R_p の中間の大きさとなり、 $R_{ap} > R_m > R_p$ という関係が得られる。これらの記号を使用して磁気抵抗変化率（TMR比）を定義すると、 $\Delta R/R = (R_{ap} - R_p) / R_p$ と表すことができる。

【0007】磁気記録媒体における磁化遷移のように、2つの強磁性層の相対的な磁化方向の配置、すなわち角度は、外部磁場に影響されて変化する。この相対的な磁化方向の角度変化は、MTJ素子の電気抵抗にも影響するため、出力電圧が変化する。したがって、電気抵抗の変化、すなわち、相対的な磁化方向の角度変化に基づく出力電圧の変化を検出することにより、外部磁場の変化を検出することが可能となる。このようにして、MTJ

$$V_{rms} = (2 \cdot e \cdot I \cdot \Delta f)^{0.5} \cdot R \quad \dots (1)$$

【0012】十分に高いS/N比を得るには、接合抵抗値Rを低減する必要がある。この接合抵抗Rは、(2)式に示したように、トンネルバリア層の厚みdと、トンネルバリア層の障壁高さ（エネルギーギャップ） Φ の平方根に対して指数関数的に変化することがわかっている。

【0013】

$$R \propto \exp(d \cdot \Phi^{1/2}) \quad \dots (2)$$

【0014】(2)式の示すように、厚みdを薄くすることによって、接合抵抗値Rを低減することは可能である。しかしながら、トンネルバリア層の厚みが減少すると、新たな問題が生じたり、その影響が増える可能性が

素子は、磁気記録媒体に記録された情報の再生を行うことができるようになっている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】1995年以前に報告されたMTJ素子は、TMR効果の低いものしかなく、室温下におけるTMR比は約1~2%程度であった。しかし、1995年に、室温下で初めて10%以上の高TMR比を示すMTJ素子が発見されてから、MTJ素子を超高密度記録媒体の再生に適用できるという期待が高まった。これに関しては、Mooderaらによる「室温下で大きな磁気抵抗をもつ強磁性薄膜トンネル接合」(“Large Magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film tunnel Junctions”, Physics Review Letters, 74, 327, 1995)によって報告された。

【0009】しかしながら、室温下で十分な高TMR比を示す、実用に適したMTJ素子を作ることはこれまで困難であった。再生ヘッドへの適用を阻む主な要因は、従来のMTJ素子では接合抵抗値が大きく、信号対雑音(Signal to Noise, S/N)比が低下するという点である。面記録密度を高めるためには、MTJ素子における接合面積の縮小は避けられず、必然的に、大きな接合抵抗値という要因は重大な問題となる。一方で、柘植と三塚による「Magnetic Tunnel Junctions With In Situ Naturally-Oxidized Tunnel Barrier (自然酸化法によるトンネルバリアを有する磁気トンネル接合)」(Appl. Phys. Lett. 71, 3296 (1997))では、抵抗接合値が低いとTMR比は小さくなってしまいう現象が報告されている。

【0010】MTJ素子で生じる問題として、ショットノイズ（電子がトンネルバリア層を通過する際に生じるノイズ）というものがあり、これはS/N比の低下につながる。ショットノイズは、接合抵抗値Rと、センス電流Iの平方根とに比例する。詳しくは、下記の(1)式に示す。ここで、ショットノイズを V_{rms} 、周波数帯域を Δf とする。なお、(1)式中、eは電気素量であり約 1.6×10^{-19} C（クーロン）である。

【0011】

ある。例えば、トンネルバリア層の厚みが薄すぎる場合、ピンホールが発生してしまう。このピンホールは、トンネルバリア層にリーク電流を発生させ、接合抵抗値およびS/N比を減少させるという問題を引き起こす。

【0015】さらに、従来のMTJ素子には、トンネルバリア層の厚みdが不均一であるという問題も存在する。酸化後のトンネルバリア層の上面である酸化物表面では、底面よりも酸素が多く分布している。このため、バイアス電圧を印加すると電気特性（例えば出力電圧）が非対称性（アシンメトリ）を示す。このような非対称性は、トンネルバリア層の、厚みdと直交する方向の障壁高さ（エネルギーギャップ） Φ を変化させることにな

る。

【0016】MTJ素子に関連した問題として、静電気放電 (Electro Static Discharge, ESD) が挙げられる。MTJ素子には放電破壊電圧があって、それは通常約150ボルト (V) である。MTJ素子が非対称を示す電気特性を持っている場合、一方のバイアス方向の放電破壊電圧は他方のバイアス方向よりも低くなる。従って、ESDにより、MTJ素子の放電破壊電圧が非対称性がない場合よりも低くなるため、MTJ素子の破壊につながる。

【0017】MTJ素子に関連する他の問題として、絶縁破壊の時間依存性 (Time Dependence of Dielectric Breakdown, TDDb) が挙げられる。好ましくないことに、時間の経過とともに、トンネルバリア層 (すなわち誘電体) の抵抗は減少してしまう。この場合、トンネルバリア層がより均質であればあるほど、すなわち、トンネルバリア層の電気特性の対称性がより優れていればいほど、トンネルバリア層は経時的により安定することになる。

【0018】さらに、MTJ素子に関連する別の問題として、MTJ素子の大量生産時に十分な良品率が確保されるかどうかという問題がある。通常、1つのウェーハ上に多数のMTJ素子が形成される。トンネルバリア層の幅、厚みあるいは障壁高さがウェーハを横切る方向に一定していないと、生産されたMTJ素子の多くは出力電圧や接合抵抗のような性能特性が不十分となり、品質管理基準を満たさない。したがって、MTJ素子の良品率、つまり、全生産量に対する製品の比率を向上させるためには、トンネルバリア層が均質であり、その電気特性が対称性を有することが必要である。

【0019】本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、低い接合抵抗値を示すとともに、高いトンネル磁気抵抗変化率を示し、室温下において高密度記録媒体の再生に適用可能な磁気トンネル接合素子およびその製造方法ならびに磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。

【0020】本発明の第2の目的は、対称性に優れる電気特性を有するトンネルバリア層を備えた磁気トンネル接合素子およびその製造方法ならびに磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法を提供することである。

【0021】本発明の第3の目的は、ESDおよびTDDbに優れている磁気トンネル接合素子およびその製造方法ならびに磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法を提供することである。

【0022】さらに本発明の第4の目的は、大量生産時において高い良品率を維持することができる均質なトンネルバリア層を有する磁気トンネル接合素子およびその製造方法ならびに磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気トンネル接合素子は、印加された磁場を検出するための磁気トンネル接合素子であって、第1の強磁性層と、第2の強磁性層と、これら第1および第2の強磁性層に挟まれ、これら2つの層と接しているトンネルバリア層とを備え、このトンネルバリア層は酸化処理が施された第1のバリア層と、第2のバリア層とを含むようにしたものである。

【0024】本発明の磁気トンネル接合素子では、トンネルバリア層は酸化処理を施された第1のバリア層と、第2のバリア層とを含んでいるので、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア層を形成することができる。

【0025】本発明の磁気トンネル接合素子では、第2のバリア層が酸化処理を施されていることが好ましい。

【0026】本発明の磁気トンネル接合素子では、第1のバリア層は、第2のバリア層の厚み以上の厚みを有していることが望ましい。これによって、より均一な絶縁性を有するトンネルバリア層を形成することができる。

【0027】さらに、本発明の磁気トンネル接合素子では、さらに、第2のバリア層上に少なくとも1層の他のバリア層を備えていることが好ましい。

【0028】本発明の磁気トンネル接合素子では、第1のバリア層の厚みは、他のバリア層のいずれよりも厚いか、または同等であることが望ましい。

【0029】本発明の磁気トンネル接合素子では、第1の強磁性層が、外部磁場により磁化方向が自由に変化する強磁性フリー層であることが望ましい。

【0030】本発明の磁気トンネル接合素子では、第1のバリア層の厚みは、0.6 nm以下であることが望ましい。

【0031】本発明の磁気トンネル接合素子では、第1および第2のバリア層のうち少なくとも一方が、クロム (Cr)、モリブデン (Mo)、タンタル (Ta)、ニオブ (Nb)、銅 (Cu)、白金 (Pt)、パラジウム (Pd)、ボロン (B)、炭素 (C)、アルミニウム (Al)、タングステン (W)、シリコン (Si)、チタン (Ti)、バナジウム (V)、ルテニウム (Ru)、レニウム (Re)、ジルコニウム (Zr) およびガリウム (Ga) からなる群のうち少なくとも1種を含むものであることが望ましい。

【0032】本発明の磁気トンネル接合素子では、第1および第2のバリア層のうち少なくとも一方が、アルミニウム (Al)、タンタル (Ta)、ニッケル (Ni)、チタン (Ti)、ハフニウム (Hf)、マグネシウム (Mg)、シリコン (Si)、ジルコニウム (Zr) およびガリウム (Ga) からなる群のうち少なくとも1種を含むものであることが望ましい。

【0033】本発明の磁気トンネル接合素子では、第2のバリア層はアニール処理されたものであってもよい。

【0034】本発明の磁気トンネル接合素子では、第2

のバリア層の厚みは、0.4 nm以下であることが望ましい。

【0035】本発明の磁気トンネル接合素子では、トンネルバリア層の厚みは、1.5 nm以下であることが望ましい。

【0036】本発明の磁気トンネル接合素子では、0から500 mVの範囲のバイアス電圧を印加した場合において、正のバイアス電圧と負のバイアス電圧とのトンネルバリア層の抵抗差 $[abs(R^+ - R^-) / (R^+ + R^-)]$ が3%未満であることが望ましい。

【0037】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法は、印加された磁場を検出するための磁気トンネル接合素子を製造する方法であって、第1の強磁性部分を形成する工程と、この第1の強磁性部分の上にトンネルバリア部分と第2の強磁性部分とを順に形成する工程とを含み、トンネルバリア部分の形成工程は、第1の強磁性部分上に第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、この第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成する工程とを含むようにしたものである。

【0038】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、この第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成する工程とを含むようにしたので、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア部分を形成することができる。

【0039】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、酸化処理後の第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成した後、酸化処理する工程を含むようにしてもよい。この場合、さらに厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア部分を形成することができる。

【0040】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、トンネルバリア部分形成工程において、第2のバリア部分を形成した後、さらに、第2のバリア部分上に少なくとも1層の他のバリア部分を形成する工程を含むようにしてもよい。

【0041】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1のバリア部分は、第2のバリア部分の厚み以上の厚みを有することが望ましい。

【0042】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1のバリア部分は、第2のバリア部分および他のバリア部分のいずれよりも厚いか、または同等であることが望ましい。

【0043】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1の強磁性部分は強磁性フリー部分であってもよい。

【0044】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1のバリア部分の厚みは、0.6 nm以下であることが望ましい。

【0045】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1および第2のバリア部分のうち少なくとも一

方が、クロム (Cr)、モリブデン (Mo)、タンタル (Ta)、ニオブ (Nb)、銅 (Cu)、白金 (Pt)、パラジウム (Pd)、ボロン (B)、炭素 (C)、アルミニウム (Al)、タングステン (W)、シリコン (Si)、チタン (Ti)、バナジウム (V)、ルテニウム (Ru)、レニウム (Re)、ジルコニウム (Zr) およびガリウム (Ga) からなる群のうち少なくとも1種を含んでいることが望ましい。

【0046】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1および第2のバリア部分のうち少なくとも一方が、アルミニウム (Al)、タンタル (Ta)、ニッケル (Ni)、チタン (Ti)、ハフニウム (Hf)、マグネシウム (Mg)、シリコン (Si)、ジルコニウム (Zr) およびガリウム (Ga) からなる群のうち少なくとも1種を含んでいることが望ましい。

【0047】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第2のバリア部分の厚みが、0.4 nm以下であることが望ましい。

【0048】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、他のバリア部分の最上層の厚みが、0.4 nm以下であることが望ましい。

【0049】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、トンネルバリア部分の厚みは、1.5 nm以下であることが望ましい。

【0050】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第2の強磁性部分を形成した後、前記トンネルバリア部分を加熱する工程を含んでいることが望ましい。

【0051】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、加熱工程は、300℃未満で加熱処理することが望ましい。

【0052】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1および第2の強磁性部分は、コバルト (Co)、鉄 (Fe) およびニッケル (Ni) からなる群のうち少なくとも1種を含んでいることが望ましい。

【0053】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、さらに、第1および第2の強磁性部分のいずれか一方に隣接するように反強磁性部分を形成する工程を含んでいることが望ましい。

【0054】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1および第2の強磁性部分のうち少なくとも一方を形成する工程において、第1の強磁性層と、非磁性金属層と、第2の強磁性層とを順に形成する工程を含んでいることが望ましい。

【0055】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1および第2の強磁性部分のうち少なくとも一方を形成する工程において、第1および第2の強磁性層と、それらの間に挟まれる非磁性金属層とを形成する工程を含み、この工程は、コバルト (Co)、コバルト (Co) 合金およびニッケル鉄 (NiFe) 合金を含む材料を用い、トンネルバリア層に隣接するように強磁性

層を形成するステップと、ニッケル鉄 (NiFe) 合金もしくは、ニッケル鉄合金にクロム (Cr)、タンタル (Ta)、モリブデン (Mo)、ニオブ (Nb) およびジルコニウム (Zr) からなる群のうち少なくとも1種を添加してなる合金を用いて他の強磁性層を形成するステップとを含んでいることが望ましい。

【0056】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、タンタル (Ta)、クロム (Cr)、チタン (Ti)、ニッケルクロム (NiCr) 合金およびニッケルクロム鉄 (NiFeCr) 合金からなる群のうち少なくとも1種を有するシード層を形成する工程を含んでいることが望ましい。

【0057】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、銅 (Cu)、アルミニウム (Al) およびニッケル鉄 (NiFe) 合金からなる群のうち少なくとも1種を含む第1および第2の電気リード層を形成する工程を含んでいることが望ましい。

【0058】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、トンネルバリア部分を、バイアス電圧が0から500mVの範囲の場合に、正のバイアス電圧と負のバイアス電圧との抵抗差 $[abs(R^+ - R^-) / (R^+ + R^-)]$ が3%未満となるように形成することが望ましい。

【0059】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法は、第1の強磁性部分を形成する工程と、この第1の強磁性部分上に、トンネルバリア部分および第2の強磁性部分をこの順に形成する工程とを含み、トンネルバリア部分の形成工程は、第1の強磁性部分上に0.6nm以下の厚みを有する第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、この第1のバリア部分上に0.4nm以下の厚みを有する第2のバリア部分を形成する工程とを含むようにしたものである。

【0060】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、この第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成する工程とを含むようにしたので、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア部分を形成することができる。

【0061】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、トンネルバリア部分の形成工程は、酸化処理後の第1のバリア部分上に0.4nm以下の厚みを有する第2のバリア部分を形成し、酸化処理する工程を含んでいることが望ましい。

【0062】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第1と第2のバリア部分のうち少なくとも一方が、アルミニウム (Al)、タンタル (Ta)、ニッケル (Ni)、チタン (Ti)、ハフニウム (Hf)、マグネシウム (Mg)、シリコン (Si)、ジルコニウム (Zr) およびガリウム (Ga) からなる群のうち少なくとも1種を含んでいることが望ましい。

【0063】本発明の磁気トンネル接合素子の製造方法では、第2の強磁性部分を形成した後、300℃未満の温度で5時間以内の加熱処理をする工程を含んでいることが望ましい。

【0064】本発明の磁気トンネル接合型ヘッドは、磁気トンネル接合素子を用いて磁気記録媒体に磁気的に記録されたデータを検出する磁気トンネル接合型ヘッドであって、第1の強磁性層と、トンネルバリア層と、第2の強磁性層とが順に積層された構造を有し、トンネルバリア層は、酸化処理を施された第1のバリア層と、第2のバリア層とを含むようにしたものである。

【0065】本発明の磁気トンネル接合型ヘッドでは、トンネルバリア層は酸化処理を施された第1のバリア層と、第2のバリア層とを含んでいるので、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア層を形成することができる。

【0066】本発明の磁気トンネル接合型ヘッドの製造方法は、磁気トンネル接合素子を用いて磁気記録媒体に磁気的に記録されたデータを検出する磁気トンネル接合型ヘッドを製造する方法であって、第1の強磁性部分を形成する工程と、第1の強磁性部分上にトンネルバリア部分および第2の強磁性部分をこの順に形成する工程とを含み、トンネルバリア部分の形成工程は、第1の強磁性部分上に第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、酸化処理後の第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成する工程とを含むようにしたものである。

【0067】本発明の磁気トンネル接合型ヘッドの製造方法は、磁気トンネル接合素子を用いて磁気記録媒体に磁気的に記録されたデータを検出する磁気トンネル接合型ヘッドを製造する方法であって、第1の強磁性部分を形成する工程と、この第1の強磁性部分上にトンネルバリア部分および第2の強磁性部分をこの順に形成する工程とを含み、トンネルバリア部分の形成工程は、第1の強磁性部分上に0.6nm以下の厚みを有する第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、酸化処理後の第1のバリア部分上に0.4nm以下の厚みを有する第2のバリア部分を形成する工程とを含むようにしたものである。

【0068】本発明の磁気トンネル接合型ヘッドの製造方法では、トンネルバリア部分形成工程において、第1のバリア部分を形成し、酸化処理する工程と、酸化処理後の第1のバリア部分上に第2のバリア部分を形成する工程とを含むようにしたので、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア層を形成することができる。

【0069】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。

【0070】【第1の実施の形態】

<MTJ素子およびMTJヘッドの構成>まず、図1お

よび図2を参照して、本発明の実施の形態に係る磁気トンネル接合(MTJ)素子およびこのMTJ素子を含む磁気トンネル接合型(MTJ)ヘッドの構成について、併せて説明する。

【0071】図1は、本実施の形態に係るMTJ素子70を含むMTJヘッド1の平面図である。図2は、図1のMTJ素子70を含むMTJヘッド1の部分断面図である。

【0072】MTJヘッド1は、基板9の上に、下部電気リード層10、MTJ素子70および絶縁層50、ならびに上部電気リード層60が順に積層された構造を有している。ここで、MTJ素子70は絶縁層50に埋設され、TMR素子70の下部表面は下部電気リード層10に接し、一方、上部表面は上部電気リード層60に接している。下部電気リード層10および上部電気リード層60は、MTJ素子70に対して、積層面に垂直な方向にセンス電流を流す電流経路としての機能を果たす。絶縁層50は、下部電気リード層10と上部電気リード層60とを電氣的に絶縁するためのものである。

【0073】本実施の形態によるMTJ素子70は、トンネル磁気抵抗効果を発揮し、図示しない磁気記録媒体に書き込みされた情報を読み取るためのものであり、図2に示したような積層構造を有する。下部電気リード層10に接して、下部電極積層体20が形成され、その上に、トンネルバリア層30、上部電極積層体40とが順に積層されている。トンネルバリア層30を挟んで隣合う下部電極積層体20および上部電極積層体40は、共に強磁性層を含んでいる。図2に示したように、下部電気リード10の上部表面上に形成された下部電極積層体20は、シード層22と、シード層22上に形成される強磁性フリー層24とを含んでいる。シード層22は非磁性層であり、強磁性フリー層24の磁気特性と結晶性とを向上させるものである。

【0074】上部電極積層体40は、強磁性ピン層42、反強磁性層(交換結合層とも呼ばれる)44および保護層46が順に形成された構造を有している。強磁性ピン層42は、固定層とも呼ばれる。これは、MTJ素子に対してある方向の外部磁場が印加されても、強磁性ピン層42における磁気モーメントの回転は反強磁性層44によって妨げられ、磁化方向が固定されているからである。一方、強磁性フリー層24の磁気モーメントは固定されず、したがって、所定の範囲で磁場が印加された状態でも、磁気モーメントは自由に回転できる。ここで、強磁性ピン層42の磁化方向43は外部磁場に対して平行に合わせるのが好ましい。強磁性フリー層24の磁化方向23は、外部磁場のない状態で、強磁性ピン層42の磁化方向43に対して垂直に位置するのが好ましい。

【0075】センス電流は、上部電気リード層60から下部電気リード層10へ向かって流れる。したがって、

保護層46、反強磁性層44、強磁性ピン層42、トンネルバリア層30、強磁性フリー層24、シード層22および下部電気リード層10の順に、積層面に対して垂直に通過する。トンネルバリア層30を流れるトンネル電流の量は、トンネルバリア層30に隔てられて隣接している2つの強磁性層の磁化方向、すなわち、強磁性フリー層24の磁化方向23と強磁性ピン層42の磁化方向43との相対的な方向に依存する。このように、MTJ素子には、トップ電気リード60から下部電気リード層10へと電流経路が形成されている。

【0076】磁気記録媒体からの磁場によって、磁化方向23は、磁化方向43に平行あるいは反平行になるように回転する。これによって、2つの強磁性層、すなわち、強磁性フリー層24および強磁性ピン層42の磁気モーメントの相対的配向が変わり、さらにトンネル電流の量も変わる。よって、MTJ素子70の接合抵抗値が変化し、この抵抗変化は、例えば、磁気ディスク駆動装置(図示せず)によって出力電圧変化として検出され、再生データに変換される。

【0077】図3は、図2に示した第1の実施の形態におけるMTJ素子の変形例を示すMTJヘッド1'の断面図である。このMTJ素子はトンネルバリア層30'より下に強磁性ピン層42'を備えたものである。図1に示した第1の実施の形態の構成部分と、実質的に同一である構成要素には、同一符号に「'」をつけて表示した。図2に示した第1の実施の形態の構成要素に加え、テンプレート層25がシード層22'と反強磁性層(ピン止め層)44'との間に形成されているのが特徴である。強磁性フリー層24'は本発明の「第2の強磁性層」の一具体例であり、強磁性ピン層42'は本発明の「第1の強磁性層」の一具体例である。

【0078】<MTJヘッドの製造方法>次に、上記した磁気トンネル接合型(MTJ)ヘッドの製造方法について説明する。なお、本実施の形態に係る磁気トンネル接合(MTJ)素子の製造方法についても併せて説明する。

【0079】図1、図2および図4を参照して、MTJヘッド1およびMTJ素子70の製造方法を説明する。図4は、MTJ70の各層を拡大して示した断面図である。

【0080】まず、基体9の上に、スパッタリング等により、アルミナ等からなる絶縁層(図示せず)を形成したのち、この絶縁層の上に、複数の導電性非磁性材料を積層した構造、例えば、タンタル(Ta)、銅(Cu)、タンタルを順に積層した構造からなる下部電気リード層10を形成する。次に、下部電気リード層10上の一部にTMR素子70を形成すると共に、そのTMR素子70の周囲領域を埋め込むようにして、下部電気リード層10上にアルミナ(Al_2O_3)等の絶縁層50を形成する。こののち、TMR素子70および絶縁層5

0を覆うように、スパッタリング等により、例えば、タンタル、銅、タンタルを順に積層した構造からなる上部電気リード層60を形成する。

【0081】以上により、トンネル磁気抵抗効果を利用するTMR素子70と、TMR素子70に対して、積層面に垂直な方向にセンス電流を流すための電流経路（下部電気リード層10および上部電気リード層60）とを備えた磁気記録媒体再生用のMTJヘッドの形成が完了する。

【0082】ここで、TMR素子70は、例えば、次のようにして形成される。図2に示したように、下部電極リード層10上に、スパッタリング等によりシード層22を形成する。シード層22は、タンタル、クロム（Cr）、チタン（Ti）、ニッケルクロム（NiCr）合金およびニッケルクロム鉄（NiCrFe）合金からなる群より選択される材料によって形成されるのが好ましい。シード層22上に、例えば、スパッタリング等により、強磁性層からなる強磁性フリー層24を形成する。この場合、強磁性フリー層24は、例えばコバルト（Co）、コバルト合金およびニッケル鉄（NiFe）合金等のスピン分極性の高い材料を含む第1の強磁性膜と、ニッケル鉄（NiFe）合金や、NiFeX合金（X＝クロム（Cr）、タンタル（Ta）、モリブデン（Mo）、ニオブ（Nb）、ジルコニウム（Zr））等の低磁化、低保磁力である材料を含む第2の強磁性膜とを有する構造であることが望ましい。このようにして、下部電極リード層10上に、下部電極積層体20を形成する。

【0083】続いて、下部電極積層体20の上に、金属層等をスパッタリング等で形成し、これを例えば、自然酸化法（いわゆる、in situ法）によって金属層を酸化処理することにより、トンネルバリア層30を形成する。トンネルバリア層30の製造方法については、後に詳述する。

【0084】トンネルバリア層30を形成した後、CoFe合金等の磁性層、ルテニウム（Ru）等の非磁性層およびCoFe合金等の磁性層を順に積層し、強磁性ピン層42を形成する。なお、強磁性ピン層42は、2つの強磁性層が、ルテニウムの他、レニウム（Re）、ロジウム（Rh）、銅およびクロム等からなる群より選択される非磁性金属層を挟んで反強磁性結合している構造を備えたものであることが望ましい。次いで、やはり、スパッタリング等により、白金マンガン（PtMn）合金等からなる反強磁性層44を形成する。強磁性ピン層42と反強磁性層44との界面において交換結合が生じ、強磁性ピン層42における磁化の向きが固定される。最後に、反強磁性層44上に、タンタルからなる保護層46を形成する。こうして、TMR素子70の形成が完了する。なお、強磁性フリー層24は、本発明の「第1の強磁性層」の一具体例であり、強磁性ピ

ン層42は本発明の「第2の強磁性層」の一具体例である。

【0085】第1の実施の形態における変形例であるおよびMTJ素子70'の製造方法について、図3および図5を参照して以下に説明する。図5は、MTJ70'の各層を拡大して示した断面図である。ここでは、MTJ素子70'の構成要素のうち、MTJ素子70と同一の名称を有するものについては、具体的製法、名称について適宜省略する。なお、MTJ素子70'以外の構成要素についてのMTJヘッド1'製造方法は、MTJヘッド1の製造方法と実質的に同様なので省略する。

【0086】MTJ素子70'は、例えば、次のようにして形成される。図3に示したように、下部電極リード層10上に、スパッタリング等によりシード層22'を形成する。シード層22'上に、例えばスパッタリング等によりタンタル、クロム、チタン、NiCr合金あるいはNiCrFe合金等からなるテンプレート層25を形成する。さらに、反強磁性層44'および強磁性ピン層42'を順に形成することで、シード層22'、テンプレート層25、反強磁性層44'および強磁性ピン層42'が順に積層された下部電極積層体20'が形成される。続いて、下部電極積層体20'の上に、トンネルバリア層30'を形成する。トンネルバリア層30'を形成した後、強磁性フリー層24'および保護層46'を形成することで上部電極積層体40'を形成する。こうして、MTJ素子70'完成する。

【0087】＜トンネルバリア層の酸化法と評価＞MTJ素子70のTMR比を向上させ、かつ、S/N比をも改善するためには、シード層22を使用し、下部電極積層体20の表面粗さを低減する方法が特に好ましい。また、トンネルバリア層30は、アルミニウム膜あるいは他の材料で形成された膜を低温下で積層し、プラズマによって酸化処理することによって形成できる。このようなMTJ素子70の接合抵抗値は、その断面積が $200 \times 300 \mu\text{m}^2$ の場合、数百 Ω から数10キロ Ω の範囲になる。

【0088】MTJ素子70のS/N比を改善するためには、トンネルバリア層30の厚みを減らして、接合抵抗値を下げる方法も考えられる。このとき、トンネルバリア層30は、アルミニウム膜を酸化処理することによって形成される。あるいは、アルミニウム膜の代わりに、クロム、モリブデン、タンタル、ニオブ、銅、白金（Pt）、パラジウム（Pd）、ボロン（B）、炭素（C）、アルミニウム、タングステン（W）、シリコン（Si）、チタン、バナジウム（V）、ルテニウム、レニウム、ジルコニウムおよびガリウム（Ga）からなる群のうち少なくとも1つを含む金属層や非金属層を酸化処理したものをトンネルバリア層30に適用することも可能である。

【0089】図6は、従来の単一酸化法によって形成さ

れた単層のトンネルバリア層130を含むMTJ素子170の部分断面図である。強磁性フリー層124の上にバリア130が積層され、さらに強磁性ピンド層142が積層されている。図6に示すように、単一酸化法によって得られたトンネルバリア層130は、しばしば、その厚みが積層面の場所によって大きく異なり、かなり不均一である。さらに、厚み方向における酸素の分布度が大きく異なる。このように不均一なトンネルバリア層130を有するMTJ素子170では、センス電流とバイアス電圧との関係等の電気特性における非対称性（アシンメトリ）が顕著になる。

【0090】これに対し、本発明の第1の実施の形態では、図7に示したように、複数の金属層あるいは非金属層を連続的に積層し、酸化することで、MTJ素子70のトンネルバリア層30を形成する。この方法によって、トンネルバリア層30の平坦度、すなわち、厚みの均一性が向上し、単一酸化法によるトンネルバリア層130よりも厚みの均一性の高いトンネルバリア層30を形成することができる。平坦度が改善されると、ピンホールの原因となる局部的に薄い厚み箇所が減ると共に、有効なトンネルバリア層の厚みが増えることになる。したがってTMR比および接合抵抗値が増加する。すなわち、ピンホール発生の危険性が減ったので、トンネルバリア層30の厚みの平均値を下げることができ、よって、従来のTMR比を維持したまま、接合抵抗値を低減できる（S/N比を向上させることができる）。

【0091】以下、本発明の第1の実施の形態に係るトンネルバリア層30を含むMTJ70の形成方法について、図7を参照して詳細に説明する。

【0092】第1の実施の形態である複合の酸化法を「酸化法I」と称することにする。図7は、酸化法Iによって形成されたトンネルバリア層30を含むMTJ素子70の略図である。トンネルバリア層30は、強磁性フリー層24の上に第1のバリア層32を形成したのち酸化処理し、さらに第2のバリア層34を酸化処理後の第1のバリア層32の上に積層したのち酸化処理することによって得られる。酸化法Iは2段階酸化法とも呼ぶことができるように、この酸化法Iでは、例えば、アルミニウム層を強磁性フリー層24の上に形成したのち酸化処理し、酸化アルミニウム（ $AlOx$ ）からなる第1のバリア層32を形成する。その後、例えば、やはりアルミニウム層を酸化処理後の第1のバリア層32の上に形成し、これも酸化することにより、第2のバリア層34を形成する。この場合、2つの酸化層、すなわち、第1および第2のバリア層32、34は、は1つの均質な $AlOx$ 層、すなわちトンネルバリア層30を形成する。その後、強磁性ピンド層42が $AlOx$ 層からなるトンネルバリア層30の上に形成される。当然、第1および第2のバリア層32、34は、上記のアルミニウム層の代わりに他の金属や非金属層を酸化処理することに

よって形成されてもよい。例えば、トンネルバリア層30は、クロム、モリブデン、タンタル、ニオブ、銅、白金、パラジウム、ポロン、炭素、タングステン、シリコン、チタン、バナジウム、ルテニウム、レニウム、ジルコニウムおよびガリウムからなる群のうち少なくとも1種を含んでもよい。但し、トンネルバリア層30は、アルミニウム、タンタル、ニッケル、チタン、ハフニウム（ Hf ）、マグネシウム（ Mg ）、シリコン、ジルコニウムおよびガリウムのうち少なくとも1種を含むことがより好ましい。

【0093】2段階酸化法である酸化法Iは、さらに、次の2つのパターンに分けることができる。すなわち、第1のバリア層32の厚み t_1 が、第2のバリア層34の厚み t_2 以下であるパターン（酸化法I-1と呼ぶ）と、第1のバリア層32の厚み t_1 が、第2のバリア層34の厚み t_2 よりも厚いパターン（酸化法I-2と呼ぶ）との2つである。

【0094】酸化法I-2（ $t_1 > t_2$ ）の一例として、全体の厚み t_0 が0.5nmである多層のトンネルバリア層30を形成する場合について説明する。最初に、0.3nmの厚みのアルミニウム膜（ $t_1 = 0.3$ nmの酸化処理前の第1のバリア層32）を例えば、スパッタリングによりチャンバ内で第1の強磁性フリー層24上に積層する。チャンバ内をポンプで排気し、その後、アルミニウム膜（酸化処理前の第1のバリア層32）を、純粋な酸素あるいは酸素プラズマに晒すことで第1の $AlOx$ 膜（第1のバリア層32）を形成する。続いて、厚みが0.2nmの第2のアルミニウム膜（ $t_2 = 0.2$ nmの酸化処理前の第2のバリア層34）を第1の $AlOx$ 膜の上に積層する。チャンバ内を再びポンプで排気し、「 $AlOx$ /アルミニウム」膜を純粋な酸素あるいは酸素プラズマに晒して酸化処理する。こうすることで、「 $AlOx$ / $AlOx$ 」膜で構成される平坦度の高いトンネルバリア層30が得られる。

【0095】後に詳述するが、酸化法Iによって形成されたMTJ素子70は、TMR比を維持し、単一酸化法に比べ相対的に低い接合抵抗値を示す。酸化法Iの場合、厚み t_1 は、0.6nm以下、厚み t_2 は、厚み t_1 未満であることが望ましい。

【0096】なお、本実施の形態においては、トンネルバリア層30は強磁性フリー層24の上に積層され、強磁性ピンド層42はトンネルバリア層30の上に積層されることが好ましい。さらに、トンネルバリア層30の厚みは1.5nm以下であることが望ましい。

【0097】次に、酸化処理前の第1のバリア層32および第2のバリア層34の合計の厚み（総厚み $t_0 = t_1 + t_2$ ）が所定の値となるように、酸化法I-1によってトンネルバリア層30Aを備えたMTJ素子70Aを作製すると共に、酸化法I-2によってトンネルバリア層30Bを備えたMTJ素子70Bを作製し、両者の

特性比較をおこなった。なお、比較例として、従来の単一酸化法によるMTJ 170についても同様の評価を行った。

【0098】図8は、酸化法I-1によって形成されたMTJ素子70Aおよび酸化法I-2によって形成されたMTJ素子70Bにおける接合抵抗値Rと、総厚み t_0 との関係を示す説明図である。ここでは、酸化処理前の第1のバリア層32A、32Bおよび第2のバリア層34A、34Bとして、どちらもアルミニウム膜を用いた。比較例として、従来の単一酸化法によるトンネルバリア層130を備えたMTJ素子170についての結果も併せて示した。図8においては、縦軸が接合抵抗R(Ω)を示し、横軸がトンネルバリア層30Aを形成する酸化処理前の第1のバリア層32の厚み t_1 と、酸化処理前の第2のバリア層34の厚み t_2 との合計であるアルミニウムの総厚み t_0 (nm)を示す。なお、トンネルバリア層130では、単層のアルミニウム膜を用い、その厚みを t_0 として横軸に示す。

【0099】図8において、従来の単一酸化法によって形成されたトンネルバリア層130をもつMTJ素子170の接合抵抗Rの特性を「▲」で示した曲線で示す。同様に酸化法I-1によるものを「■」で示し、酸化法I-2によるものを「●」で示した。

【0100】図8によれば、当然のことではあるが、厚み t_0 が減少すると接合抵抗値Rも減少する。例えば、単一酸化法によって0.7nmのアルミニウムの単層を酸化処理した場合は、抵抗値は44.5 Ω であるが、0.5nmのアルミニウム単層を酸化処理した場合、抵抗値は、わずかに1.4 Ω である。この傾向はいずれの酸化法においても、確認される。但し、同一の厚み t_0 における接合抵抗値Rを比較すると、酸化法によって異なっている。いずれの厚み t_0 においても、単一酸化法が一番低い接合抵抗値Rを示し、続いて酸化法I-2、酸化法I-1の順に高い接合抵抗値Rを示すようになっている。

【0101】図9は、図8で用いたMTJ素子70A、70Bについて、TMR比の変化を調査した結果を示す。縦軸にTMR比(%)を示し、横軸には、図8同様、トンネルバリア層30A、30B形成する酸化処理前の第1のバリア層32A、34Bの厚み t_1 と、酸化処理前の第2のバリア層34A、34Bの厚み t_2 との合計であるアルミニウム膜の総厚み t_0 (nm)を示す。従来の単一酸化法によるMTJ素子170の調査結果についても併せて図示した。なお、トンネルバリア層

130では、単層のアルミニウム膜を用い、その厚みを t_0 として横軸に示す。

【0102】図9に示したように、「▲」で示した単一酸化法の場合、厚み t_0 が0.7nmから0.5nmまで減少すると、これに応じてTMR比は27%から5.4%まで減少する。これは、一度の酸化処理によって単層のトンネルバリア層130を形成するプロセス、すなわち単一酸化法では、酸化処理が施されるアルミニウム層の厚みが薄い場合、高いTMR比を維持することが困難であることを意味する。TMR比が低下すると、当然、MTJ素子あるいはMTJヘッドの出力電圧が低下し、これによりS/N比も劣化する。なお、図8および図9に用いたMTJ素子は、「タンタル(5nm)/NiFe合金(5nm)/CoFe合金(2nm)/AlOx(2層もしくは単層で、0.5~0.7nm)/CoFe合金(3nm)/PtMn合金(30nm)/タンタル」といった積層構造を有する。ここで、括弧内は各層の厚みを示す。

【0103】図8および図9に示されているように、単一酸化法によって形成したMTJ素子170は、総厚み $t_0=0.5$ nmの場合、5.4%のTMR比および1.3 Ω の接合抵抗値Rを示す。一方、「●」で示した酸化法I-2によるMTJ素子70Bは、総厚み $t_0=0.5$ nmにおいて14.7%のTMR比および9.4 Ω の接合抵抗値Rを示す。この場合、トンネルバリア層30Bは、第1のバリア層32Bとして厚み $t_1=0.3$ nmのアルミニウム膜を積層したのち酸化処理し、続いてこの上に第2のバリア層34Bとして厚み $t_2=0.2$ nmのアルミニウム膜を積層したのち酸化処理することによって形成された。したがって、酸化法I-2によってMTJ素子70Bを形成する場合、特にアルミニウム薄層を形成する場合、TMR比および接合抵抗値Rは両方とも増加する。この結果は、最初の酸化中に、つまり厚み $t_1=0.3$ nmの第1のバリア層32Bの酸化処理中に、この膜の下にある強磁性フリー層24の界面(第1のバリア層32と接する面)がわずかに酸化されるものの、従来の単一酸化法によってピンホールが生じた現象のような重大な問題とはならないことを示唆する。

【0104】表1は、上記図8および図9の結果を表にまとめたものである。

【0105】◎

【表1】

酸化法	厚み t_0	平均 $R \times A$	係数 a	$1 \times 1 \mu m^2$	
	nm	$\Omega \mu m^2$		TMR (%)	R (Ω)
酸化法 I-2	3+2	8.1	1.0051	14.7	9.4
酸化法 I-1	3+3	37.1	0.9662	25.9	41.1
酸化法 I-2	4+2	23.7	0.9869	26.7	26.9
酸化法 I-1	3+4	78.4	0.9874	25.0	83.2
酸化法 I-2	4+3	52.5	0.9844	26.3	57.9
単一酸化法	7	44.5	0.9928	27.6	45.7
単一酸化法	6	11.3	1.0056	16.9	13.3
単一酸化法	5	1.4	0.8490	5.4	1.3

【0106】表1において、左端の列の項目は酸化工程の種類を示す。2列目の項目は、単一酸化法の場合には、トンネルバリア層となる酸化処理前の単層のアルミニウム膜の厚みを示し、酸化法 I の場合は「第1のバリア層の厚み t_1 + 第2のバリア層の厚み t_2 (どちらもアルミニウム膜)」を示す。3列目の項目は平均の $R \times A$ ($\Omega \mu m^2$) を示し、4列目の項目はデータを一次関数で表される直線でフィッティングした場合の係数である。この係数 a が1.0に近いほど、質の高いトンネルバリア層が形成されていることを示す。5列目および6列目の項目は接合面積が $1 \times 1 \mu m^2$ の場合における TMR 比 (%) と接合抵抗値 R (Ω) を示す。

【0107】続いて、MTJ 素子に磁場 H を印加した際の TMR 比および接合抵抗値 R の応答特性について調査した。図10は、従来の単一酸化法により形成したトンネルバリア層130を備えた MTJ 素子170の結果を示し、一方、図11は、第1の実施の形態における酸化法 I-2により形成したトンネルバリア層30Bを備えた MTJ 素子70Bについての結果を示す。いずれのトンネルバリア層130、30Bにおいても、総厚み t_0 は0.5 nm、接合面積は $1 \times 1 \mu m^2$ である。図10、11において、縦軸は TMR 比 (%) を示し、横軸は磁場 H (Oe) を示す。

【0108】トンネルバリア層130は、厚み0.5 nmのアルミニウム膜を単独で酸化処理することにより形成した。図10に示したように、磁場 H に対して大きな変化が見られず、最大値は TMR 比が約5%、接合抵抗値 R が約1.40 (Ω) にとどまっている。一方、トンネルバリア層30Bは、第1のバリア層32Bとして厚み $t_1 = 0.3$ nmのアルミニウム膜を積層したのち酸化処理する工程と、続いて第2のバリア層34Bとして厚み $t_2 = 0.2$ nmのアルミニウム膜を積層したのち酸化処理する工程とによって形成した。図11に示したように、図10の単一酸化法よりも大きな応答性の変化が見られ、最大値は TMR 比が約15%、接合抵抗値 R が約10.7 (Ω) となった。

【0109】図12～14は、総厚み $t_0 = 0.6$ nmとした場合における各酸化法の比較を行った、TMR 比および接合抵抗値 R の磁場 H に対する応答曲線である。

図10および11と同様、トンネルバリア層の接合面積は統一して $1 \times 1 \mu m^2$ とした。縦軸が TMR 比 (%) および接合抵抗値 R (Ω) を示し、横軸が磁場 H (Oe) を示す。図12は、従来の単一酸化法によって形成された総厚み $t_0 = 0.6$ nmのアルミニウム膜のトンネルバリア層130を備えた MTJ 素子170の応答特性を示す。図13は、最初に厚み $t_1 = 0.4$ nmのアルミニウム膜 (第1のバリア層32B) を酸化処理し、次に厚み $t_2 = 0.2$ nmのアルミニウム膜 (第2のバリア層34B) を酸化することによって形成された (すなわち、酸化法 I-2 による) トンネルバリア層30Bを備えた MTJ 素子70Bの応答特性を示す。さらに図14は、最初に厚み $t_1 = 0.3$ nmのアルミニウム膜 (第1のバリア層32A) を酸化処理し、次に厚み $t_2 = 0.3$ nmのアルミニウム膜 (第2のバリア層34A) を酸化することによって形成された (すなわち、酸化法 I-1 による) トンネルバリア層30Aを備えた MTJ 素子70Aの応答特性を示す。図12～14に示した通り、酸化法によって MTJ 素子の応答特性は異なる。

【0110】さらに、図15～17は、総厚み $t_0 = 0.7$ nmの場合における各酸化法の比較を行った、TMR 比および接合抵抗値 R の磁場 H に対する応答曲線である。各トンネルバリア層の接合面積は $1 \times 1 \mu m^2$ であり、縦軸が TMR 比 (%) および接合抵抗値 R (Ω) を示し、横軸が磁場 H (Oe) を示す。図15は、単一酸化法による MTJ 素子170の応答特性を示す。図16は、酸化処理前の第1のバリア層32Bとして厚み $t_1 = 0.4$ nmのアルミニウム膜を用い、酸化処理前の第2のバリア層34Bとして厚み $t_2 = 0.3$ nmのアルミニウム膜を用いた (すなわち、酸化法 I-2 による) トンネルバリア層30Bを含む MTJ 素子70Bにおける応答特性を示す。さらに、図17は、酸化処理前の第1のバリア層32Aとして厚み $t_1 = 0.3$ nmのアルミニウム膜を用い、酸化処理前の第2のバリア層34Aとして厚み $t_2 = 0.4$ nmのアルミニウム膜を用いた (すなわち、酸化法 I-1 による) トンネルバリア層30Aを含む MTJ 素子70Aにおける応答特性を示す。図15～17に示したように、 $t_0 = 0.7$ nmとした場合においても、磁場 H に対する応答特性について酸化法に

よる差違が認められる。

【0111】上記したとおり、単一酸化法、酸化法I-1および酸化法I-2による差違は、磁場Hに対するTMR比および接合抵抗値Rの応答特性に現れた。例えば、図16および図17を参照すると、酸化処理前の第1のバリア層32の厚み t_1 が酸化処理前の第2のバリア層34の厚み t_2 以下の厚みを有する場合、すなわち酸化法I-1 ($t_1 \leq t_2$) の場合、MTJ素子70は酸化法I-2 ($t_1 > t_2$) の場合よりも大きな接合抵抗Rを示している。このことは、 AlO_x 膜(第1のバリア層32)上に形成されたアルミニウム膜(酸化処理前の第2のバリア層34)は、強磁性層上に直接形成される場合よりも結晶の成長がよく、広範囲に及ぶ微細孔のない膜を得ることができ、その結果、ピンホールが非常に少ない第2の AlO_x 膜(第2のバリア層34)が形成されることを意味する。

【0112】図18は、従来の単一酸化法による AlO_x からなるトンネルバリア層130を備えたMTJ素子170および第1の実施の形態の酸化法Iによる2層構造の AlO_x からなるトンネルバリア層30を備えたMTJ素子70において、センス電流とバイアス電圧との関係を調査した結果を示す説明図である。縦軸はセンス電流(A)を示し、横軸はバイアス電圧(V)を示す。この調査では、上部電気リード60から下部電気リード10へ印加する方向を正バイアスとし、説明図においては「■」もしくは「●」によって表示した。一方、下部電気リード10から上部電気リード60へ印加する方向を負バイアスとし、説明図においては「□」もしくは「○」によって表示した。図18によれば、「■」および「□」で表示した単一酸化法によるMTJ素子170よりも、「●」および「○」で表示した酸化法IによるMTJ素子70の方が、優れた応答特性が得られることがわかる。すなわち、酸化処理を複数回に分けておこなうことにより形成されたトンネルバリア層では、バイアス方向によらず、より対称なセンス電流-バイアス電圧曲線が得られるのである。

【0113】図19は、従来の単一酸化法によって形成されたトンネルバリア層130の障壁高さのプロファイルを示す略図である。図19に示したように、単一酸化法による障壁高さのプロファイルは非対称であり、上面と底面とでは障壁高さが大きく異なる。すなわち、上面の障壁高さ Φ_2 の方が、底面の障壁高さ Φ_1 よりも著しく大きい。MTJ素子170内部において、トンネルバリア層130の上面は強磁性ピンド層142と接し、底面は強磁性フリー層124に接している。障壁高さのプロファイルが非対称になる原因は、自然酸化のようなソフトな酸化方法に特に関係している。トンネルバリア層130の上面は、酸素雰囲気と晒されると酸素ガスとより直接的に接触することになるので、トンネルバリア層上面近傍に分布する酸素原子が多くなる。これに対し底

面近傍に分布する酸素原子は少なく、十分に酸化されない。このような原因により、図19に示したように、障壁高さプロファイルの非対称性が生じる。

【0114】一方、図20は、本実施の形態の酸化法Iによって形成されたトンネルバリア層30の障壁高さのプロファイルを示す略図である。図20に示したように、酸化法Iによる障壁高さのプロファイルは、図18の単一酸化法によるプロファイルよりも対称性がよく、上面の障壁高さ Φ_2 と底面の障壁高さ Φ_1 との差が小さい。すなわち、第1の酸化アルミニウム膜(第1のバリア層32)を形成した後に第2の酸化アルミニウム膜(第2のバリア層34)を追加形成する方法によれば、酸化処理前の、例えば、アルミニウム膜の厚みが薄い分、加熱によるアニール処理が進行する間に酸素原子が内部拡散することができ、底面近傍まで酸化処理が進み、よって、障壁高さプロファイルの対称性が改善されるのである。

【0115】＜第1の実施の形態における効果＞以上のように、本実施の形態によれば、2段階の酸化プロセスを適用してトンネルバリア層を形成するようにしたので、一度に酸化処理する従来の方法に比べて、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア層30を形成することができる。よって、ピンホール発生の危険性が低減され、より薄いトンネルバリア層30を備えたMTJ素子70を提供することができる。

【0116】さらに、本実施の形態によれば、一度に酸化処理する従来の方法に比べて、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア層30を形成ことができるため、トンネルバリア層30の底面における障壁高さ Φ_2 と、上面における障壁高さ Φ_1 との差を小さくすることができる。すなわち、より優れた障壁高さの厚み方向対称性が得られ、このため、バイアス方向に影響されず、ほぼ同一のセンス電流-バイアス電圧曲線となるMTJ素子70を得ることが可能になる。

【0117】〔第2の実施の形態〕次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。

【0118】上記のように、第1の実施の形態は、トンネルバリア層の形成プロセスを2段階に分け、金属膜もしくは非金属膜の成膜と酸化処理という手順を2回繰り返すようにしたものである。これに対し本実施の形態は、トンネルバリア層の形成プロセスを2段階に分ける点では同じであるが、金属膜もしくは非金属膜である第2のバリア層を酸素雰囲気中で酸化処理するのではなく、第2のバリア層上に強磁性層を成膜したのち、内部に存在する酸素原子を拡散させることによって第2のバリア層を酸化処理するようにしたものである。

【0119】以下、図21～28を参照して、本実施の形態の磁気トンネル接合素子およびその製造方法ならびに磁気トンネル接合型ヘッドおよびその製造方法を説明する。ここでは、上記実施の形態と異なる特徴部分につ

いてのみ説明することとし、その他、同一の部分については適宜説明を省略する。同様に、図21～28においても、上記第1の実施の形態(図2～20)の構成要素と実質的に同一の部分については、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0120】<MTJ素子の構成>図21および図22は、本実施の形態に係る酸化法IIによって形成されたMTJ部70C、70C'の概略断面図である。図21は、トンネルバリア層31の上に強磁性ピンド層42を備えたMTJ素子70Cを示し、図22は、トンネルバリア層31'の下に強磁性ピンド層42'を備えたMTJ部70C'を示したものである。図21および図22では、図4および図5と同一の構成要素には同一符号を付する。図21に示したように、MTJ素子70Cでは、シード層22、強磁性フリー層24、トンネルバリア層31、強磁性ピンド層42、反強磁性層44および保護層46が、この順に積層された構造となっている。トンネルバリア層31は、さらに2つの層に分けられ、強磁性フリー層24に接するように第1のバリア層35が形成され、その上に、第2のバリア層36が形成されている。一方、MTJ素子70Cの変形例であるMTJ素子70C'は図22に示したように、シード層22'、テンプレート層25、反強磁性層44'、強磁性ピンド層42'、トンネルバリア層31'、強磁性フリー層24'および保護層46'がこの順に積層された構造を有している。やはり、トンネルバリア層31'は2つの層から形成されており、強磁性ピンド層42'に接するように第1のバリア層37が形成され、その上に第2のバリア層38が形成されている。なお、これらMTJ素子70C、70C'を備えたMTJヘッドは、第1の実施の形態と実質的に同等のものであるので、説明を省略する。

【0121】<MTJ素子の製造方法>続いて、本実施の形態に係る酸化法IIによるMTJ素子70C、70C'の製造方法について、図21および図22を参照して、以下に説明する。酸化法IIでは、酸化法Iと同様、金属膜もしくは非金属膜を積層したのち、酸化処理することによって第1のバリア層35、37を得る。トンネルバリア層31が強磁性フリー層24の上に固定される構造(図21)がより好ましい。次に、金属膜あるいは非金属膜である第2のバリア層36、38を酸化処理後の第1のバリア層35、37の上に積層する。第2のバリア層36、38の厚みは、0.4nm以下、特に、0.1～0.4nmの範囲であることが好ましい。第1のバリア層35、37と第2のバリア層36、38は、アルミニウム、タンタル、ニッケル、チタン、ハフニウム、マグネシウム、シリコン、ジルコニウムおよびガリウムのうち少なくとも1つを含んでいることが好ましい。

【0122】次に、上部電極積層体40、40'が第2

のバリア層36、38の上に積層される。この上部電極積層体40、40'は、好ましくは300℃未満の温度でアニール処理され、酸素の内部拡散により、第1のバリア層35、37の上の第2のバリア層36、38が酸化される。この場合、第2のバリア層36、38は、酸素雰囲気下で加熱されないため、大部分は酸化されないままである。他の方法として、保護層46、46'の積層前に他のバリア層を積層して酸化する方法も考えられる。この場合、酸化処理前の第1のバリア層35、37は、それらの上に積層される他のバリア層の厚み以上の厚みを有している。

【0123】<トンネルバリア層の評価>図23は、従来の単一酸化法によるMTJ素子170および酸化法IIによるMTJ素子70Cについて、TMR比を比較した結果を示す説明図である。縦軸がTMR比を示し、上の横軸は追加された酸化処理前の第2のバリア層36の厚み t_4 を示し、さらに下の横軸は酸化処理前の第1のバリア層35の厚み t_3 と第2のバリア層36の厚み t_4 との合計を表す総厚み t_{10} を示したものである。なお、第1および第2のバリア層35、36にはアルミニウム膜を用いた。図23に示したように、従来の単一酸化法の場合、0.7nmから1nmへ総厚み t_{10} が増加すると、TMR比率は直線的な減少を示す。一方、酸化法IIの場合、総厚み t_{10} が0.8nmから0.9nmに変化する際に、TMR比が大きく減少する。

【0124】図24は、図23で評価したMTJ素子170、70Cについて、接合抵抗値と接合面積との積(以下、 $R \times A$)の変化を比較した結果を示したものである。縦軸が $R \times A$ ($\Omega \mu m^2$)を示し、上の横軸が追加された酸化処理前の第2のバリア層36の厚み t_4 を示し、さらに下の横軸が酸化処理前の第1のバリア層35の厚み t_3 と第2のバリア層36の厚み t_4 との合計を表す総厚み t_{10} を示したものである。図24に示したように、酸化法IIによる場合、単一酸化法よりも小さな $R \times A$ を示す。単一酸化法によると、総厚み t_{10} が0.9nmから1.0nmに増えると、接合抵抗値が大きく増加する。酸化法IIでは、少なくとも総厚み t_{10} が0.7～1.0nmの範囲では、単一酸化法よりも小さな $R \times A$ が得られる。したがって、総厚み t_{10} が同じ場合、非常に薄い第2のバリア層36を挿入して形成されたMTJ素子70Cは、単一酸化法によるMTJ素子170と同程度のTMR比を示し、かつ、それよりも小さい $R \times A$ を示す。

【0125】図24に示したように、 $R \times A$ の増加は、第2のバリア層36が酸化されていることを意味する。しかし、この内部拡散による酸化法IIは従来の単一酸化法に比べて非常に緩やか酸化であるが、酸素含有量が制限されているので、酸化法IIで形成されるトンネルバリア層31の $R \times A$ は単一酸化法よりも小さくなる。内部拡散による酸化法IIにおける上記特徴は、トンネ

ルバリア層31と強磁性層との境界面に、例えば、アルミニウム等の金属原子が残ることにも関係し、第1のバリア層35上に挿入された第2のバリア層36のTMR比の大幅な減少につながる。

【0126】図25は、250℃で5時間アニール処理した後、酸化法IIによって形成されたトンネルバリア層31を備えるMTJ素子70Cにおけるセンス電流－バイアス電圧曲線を示す説明図である。縦軸はセンス電流(mA)を示し、横軸はバイアス電圧(V)を示す。ここでは、厚みt3を0.7nmに固定し、厚みt4を0.0nmから0.4nmまで0.1nmずつ変化させた。図25に示したように、厚みt4を厚くすることで、トンネルバリア層31の対称性が改善されていることがわかる。つまり、第2のアルミニウム膜(酸化処理前の第2のバリア層36)の厚みt4が0から増えるに伴い、バイアス方向による差が小さくなっている。ここで厚みt4が0というのは第2のバリア層36が存在しないという意味である。アニール処理は、300℃以上、5時間以下で行われることが好ましい。

【0127】図26は、従来の単一酸化法によって形成されたトンネルバリア層130の障壁高さのプロファイルを示す略図である。一方、図27は、本実施の形態による酸化法IIによって形成されるトンネルバリア層31の障壁高さのプロファイルを示す略図である。図26に示したように、単一酸化法のプロファイルは非対称であり、上面の障壁高さΦ2の方が、底面の障壁高さΦ1とよりも著しく大きくなっている。一方、図27に示したように、酸化法IIのプロファイルは単一酸化法のプロファイルよりも、上面の障壁高さΦ2と底面の障壁高さΦ1との差が小さい。この結果は、第1の実施の形態同様、トンネルバリア層31中における酸素の内部拡散の効果によるものであり、センス電流－バイアス電圧曲線の対称性改善と一致するものである。

【0128】図28は、単一酸化法、酸化法Iおよび酸化法IIによって形成されたトンネルバリア層について、バイアス電圧に対する抵抗差 $[abs(R^+ - R^-) / (R^+ + R^-)]$ の変化を示す説明図である。ここで、 R^+ はバイアス電圧に対するトンネルバリア層の接合抵抗値を示し、 R^- は正反対の方向のバイアス電圧に対するトンネルバリア層の接合抵抗値を示すものである。縦軸は抵抗差(%)を示し、横軸はバイアス電圧(V)を示す。「■」の表示は従来の単一酸化法によるトンネルバリア層130の結果を示す。「◇、○、□、●」の表示は酸化法IIによって異なる厚みの第2のアルミニウム膜(酸化処理前の第2のバリア層36)を追加したトンネルバリア層31の結果を示す。「△」は酸化法Iによって形成されたトンネルバリア層30についての結果である。図28に示したように、酸化法IおよびIIの場合、単一酸化法に比べバイアス電圧に対する抵抗差が著しく低くなっている。このことは、酸化法I

およびIIによって形成されたMTJ素子70, 70Cにおけるトンネルバリア層30, 31の障壁高さのプロファイル対称性が改善されたことを示す。この場合、トンネルバリア層は、0～500mVのバイアス電圧範囲で、正負のバイアス電圧の抵抗差 $[abs(R^+ - R^-) / (R^+ + R^-)]$ が3%未満であるように形成されることが好ましい。

【0129】<第2の実施の形態における効果>以上のように、本実施の形態によれば、トンネルバリア層の形成プロセスを2段階に分け、第1のバリア層35, 37に含まれる酸素を拡散させることにより第2のバリア層36, 38の酸化処理を行うようにしたので、第1の実施の形態に比べ、トンネルバリア層の底面における障壁高さΦ2と、上面における障壁高さΦ1との差をより小さくすることができる。すなわち、障壁高さの厚み方向対称性がさらに向上し、バイアス方向に影響されない、ほぼ同一のセンス電流－バイアス電圧曲線となるMTJ素子を得ることが可能になる。

【0130】本発明の様々な形態を補足的な開示をするために、以下の文献を参考文献として挙げる。

【0131】その文献とは、2000年7月20日に出願されたオリヴィエ・ルドンらによる米国特許出願「Magnetic Tunnel Junction Read Head Using Hybrid, Low Magnetization Flux Guide (ハイブリッド低磁化フラックスガイドを用いた磁気トンネル接合再生ヘッド)」

(2000年3月27日に申請された米国仮出願第60/192,320号に対応する)の明細書およびその図面である。この発明は、最大のスピントルクを備えた材料を選択することによってTMR比を最大にする再生ヘッドの設計を目的とするものである。この再生ヘッドではハイブリッド低磁化材料を使用してフラックスガイドの効率を最大限に高めて大きな信号出力を達成することができる。

【0132】以上、上記の各実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は、上記実施の形態に限定されず、種々変形可能である。例えば、本実施の形態では、トンネルバリア層をアルミニウムを含む膜を酸化処理することによって形成したが、これに限定されるものではない。また、本実施の形態では、トンネルバリア層を2段階に分けて形成したが、さらに細分化し、第3のバリア膜やそれ以上のバリア膜を追加して多段階の酸化処理を施し、より均質なトンネルバリア層を生成することもできる。この場合、追加されるバリア膜は徐々に薄くなるようにすることが望ましい。

【0133】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1ないし請求項13のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子および、請求項14ないし請求項38のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法によれば、トンネルバリア層が、酸化処理を施された第1のバリア層

と、第2のバリア層とを含むようにしたので、酸化処理を施された単一バリア層を含む従来のトンネルバリア層に比べて、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア層を得ることができる。よって、電気特性の対称性を改善でき、ESDおよびTDD B特性を向上させると共に、室温下においても低い接合抵抗を維持しつつTMR比を向上させることができる。したがって、ハードディスクドライブやその他の装置において高密度磁気記録媒体のバイナリ・データ再生に適用可能であり、さらにはその他の磁場検出デバイスはもちろん、その他の同種のデバイスおよび環境に対しても適用可能である。さらに、不良率を低減することができ、効率的な大量生産が可能となる。

【0134】請求項39に記載の磁気トンネル接合型ヘッドおよび請求項40および請求項41に記載の磁気トンネル接合型ヘッドの製造方法によれば、磁気トンネル接合素子のトンネルバリア層が、酸化処理を施された第1のバリア層と、第2のバリア層とを含むようにしたので、酸化処理を施された単一バリア層を含む従来のトンネルバリア層に比べて、厚み方向により均一な絶縁性を有するトンネルバリア層を備えた磁気トンネル接合型ヘッドを得ることができる。よって、対称性に優れた電気特性を有し、ESDとTDD Bに対しても高い性能特性を有すると共に、室温下においても低い接合抵抗、かつ高いTMR比を示す再生ヘッドが得られる。この磁気トンネル接合型ヘッドは、ハードディスクドライブやその他の高密度磁気記録媒体のバイナリ・データ再生に適用可能である。さらに、不良率を低減することができ、効率的な大量生産が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るMTJヘッドの平面図である。

【図2】図1のMTJヘッドの部分断面図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係るMTJヘッドの変形例における断面図を示す。

【図4】図2に示す本発明の第1の実施の形態に係るMTJヘッドにおけるMTJ素子の断面図である。

【図5】図3に示す本発明の第2の実施の形態に係るMTJヘッドにおけるMTJ素子の断面図である。

【図6】従来の単一酸化法によって形成されたトンネルバリア層の断面図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態に係る酸化法Iによって形成されたトンネルバリア層の断面図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態に係るMTJ素子における接合抵抗値のトンネルバリア層の厚み依存性を示す特性図である。

【図9】本発明の第1の実施の形態に係るMTJ素子におけるTMR比のトンネルバリア層の厚み依存性を示す特性図である。

【図10】従来の単一酸化法によって厚み0.5nmの

トンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図11】本発明の第1の実施の形態に係る酸化法I-2によって厚み0.5nmのトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図12】従来の単一酸化法によって厚み0.6nmのトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図13】本発明の第1の実施の形態に係る酸化法I-2によって厚み0.6nmのトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図14】本発明の第1の実施の形態に係る酸化法I-1によって厚み0.6nmのトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図15】従来の単一酸化法によって厚み0.7nmのトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図16】本発明の第1の実施の形態に係る酸化法I-2によって厚み0.7nmのトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図17】本発明の第1の実施の形態に係る酸化法I-1によって厚み0.7nmのトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるTMR比および接合抵抗値の磁場に対する応答曲線である。

【図18】従来の単一酸化法および本発明の第1の実施の形態に係る酸化法Iによって形成されたトンネルバリア層を備えたMTJ素子におけるバイアス電圧-センス電流特性を示す特性図である。

【図19】従来の単一酸化法によって形成されたトンネルバリア層の障壁高さのプロファイルを示す概略図である。

【図20】本発明の第1の実施の形態に係る酸化法Iによって形成されたトンネルバリア層の障壁高さのプロファイルを示す概略図である。

【図21】本発明の第2の実施の形態に係る酸化法IIによって形成されたトンネルバリア層の上に強磁性ピンド層を備えたMTJ素子の断面図である。

【図22】本発明の第2の実施の形態に係る酸化法IIによって形成されたトンネルバリア層の下に強磁性ピンド層を備えたMTJ素子の断面図である。

【図23】本発明の第2の実施の形態に係る酸化法IIによって形成したトンネルバリア層を含むMTJ素子におけるアルミニウム層の厚みに対するTMR比を示す特性図である。

【図24】本発明の第2の実施の形態に係る酸化法IIによって形成したトンネルバリア層を含むMTJ素子に

おけるアルミニウム層の厚みに対する接合抵抗値を示す特性図である。

【図25】本発明の第2の実施の形態に係る酸化法ⅠⅠによるMTJ素子のバイアス電圧－センス電流特性を示す特性図である。

【図26】従来の単一酸化法によって形成されたトンネルバリア層の障壁高さのプロファイルを示す概略図である。

【図27】本発明の第2の実施の形態に係る酸化法ⅠⅠによって形成されたトンネルバリア層の障壁高さのプロファイルを示す概略図である。

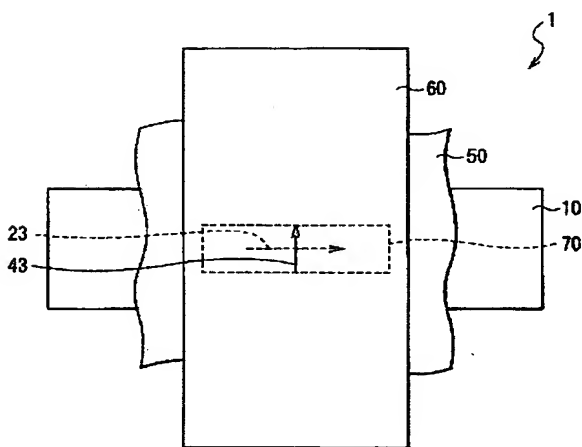
【図28】従来の酸化法ならびに本発明の第1および第

2の実施の形態に係る酸化法Ⅰ、ⅠⅠによって形成されたトンネルバリア層を含むMTJ素子において、バイアス電圧に対する抵抗差を示す特性図である。

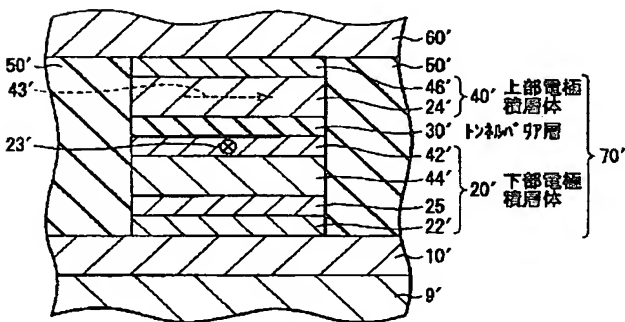
【符号の説明】

1…MTJヘッド、9…基板、10…下部電気リード、20…下部電極積層体、22…シード層、23…磁化方向、24…強磁性フリー層、30、31…トンネルバリア層、32、35、37…第1のバリア層、34、36、38…第2のバリア層、40…上部電極積層体、42…強磁性ピンド層、44…反強磁性層、46…保護層、50…絶縁体、60…上部電気リード、70…MTJ素子

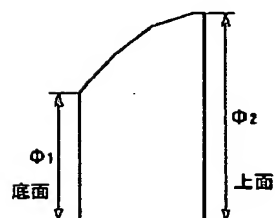
【図1】



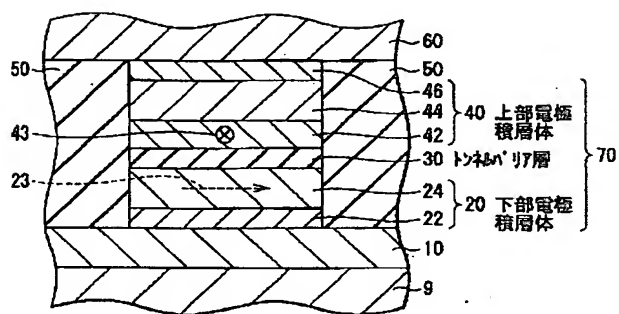
【図3】



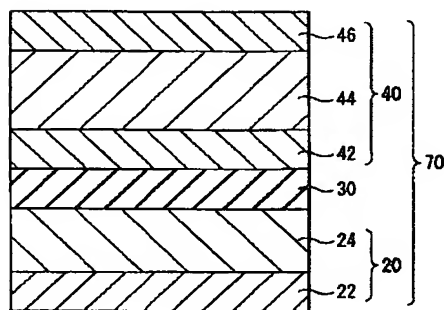
【図20】



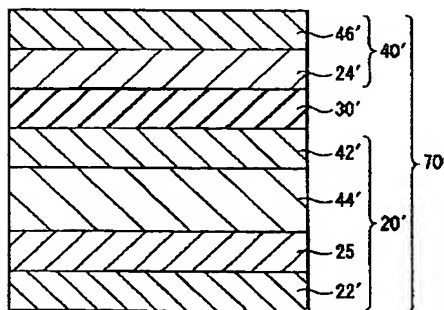
【図2】



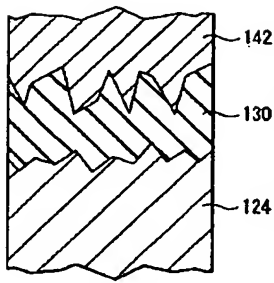
【図4】



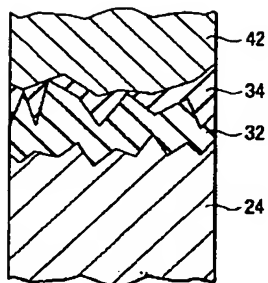
【図5】



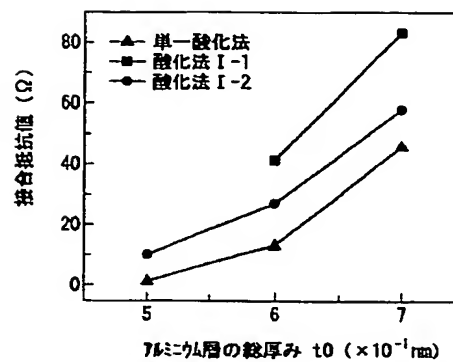
【図 6】



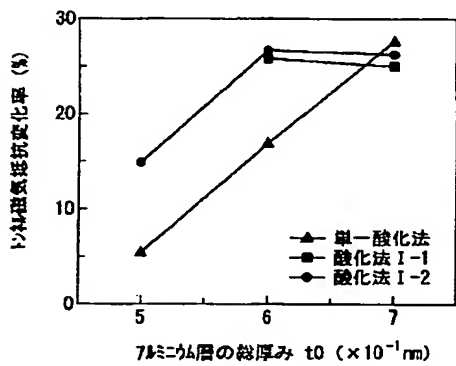
【図 7】



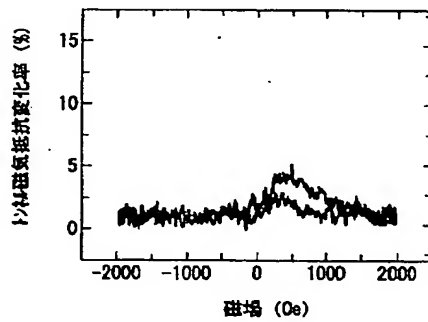
【図 8】



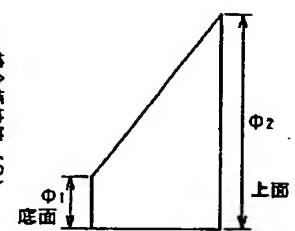
【図 9】



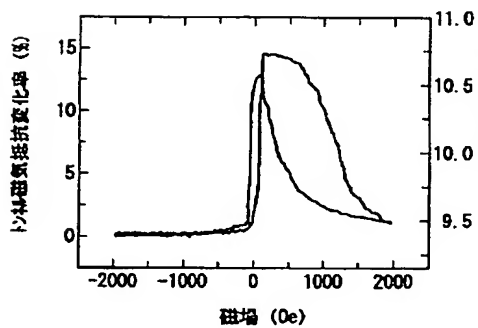
【図 10】



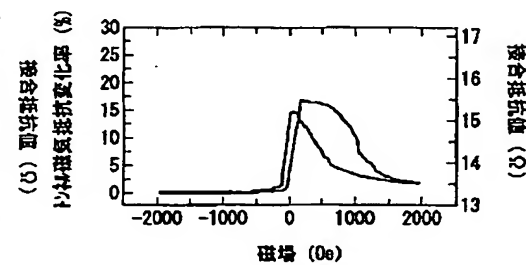
【図 19】



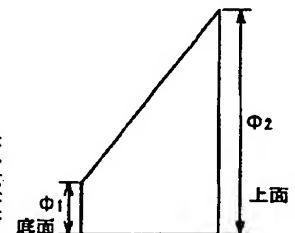
【図 11】



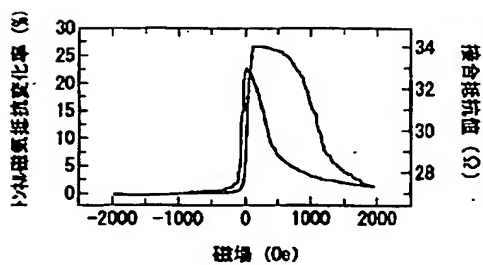
【図 12】



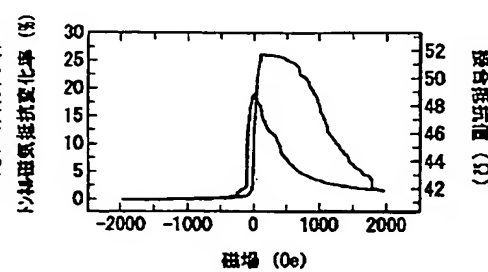
【図 26】



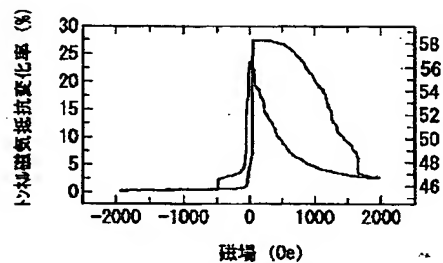
【図 13】



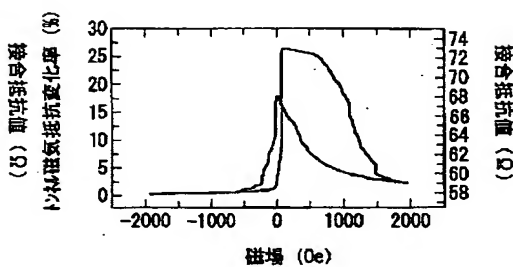
【図 14】



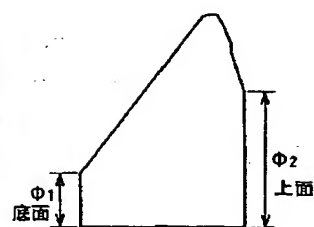
【図15】



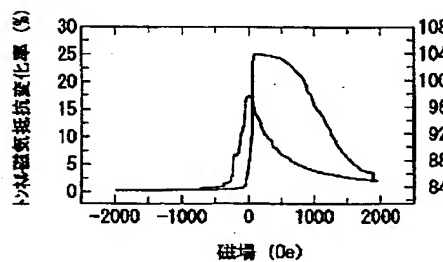
【図16】



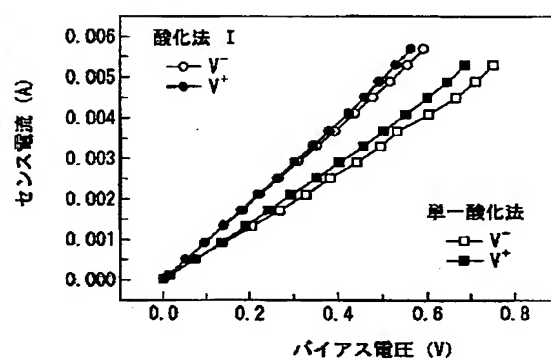
【図27】



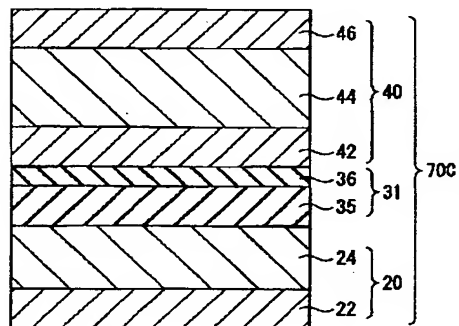
【図17】



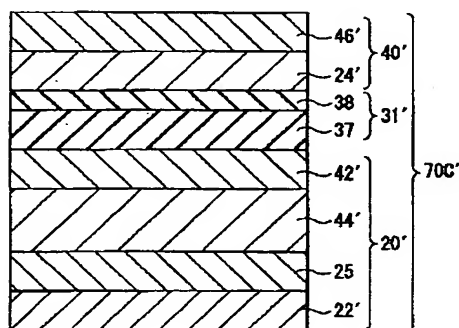
【図18】



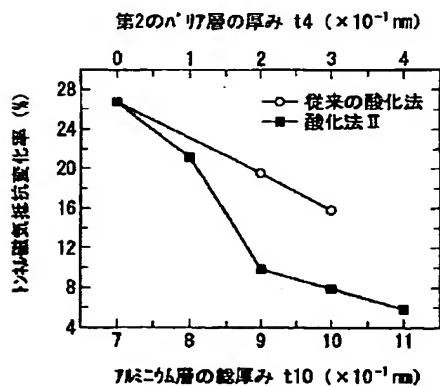
【図21】



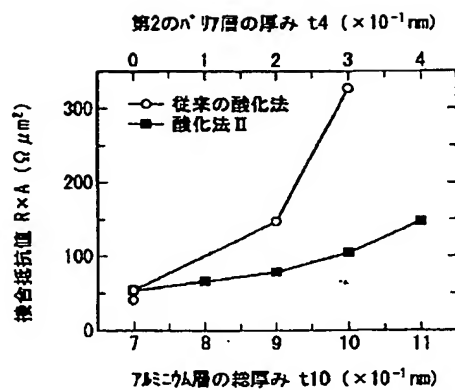
【図22】



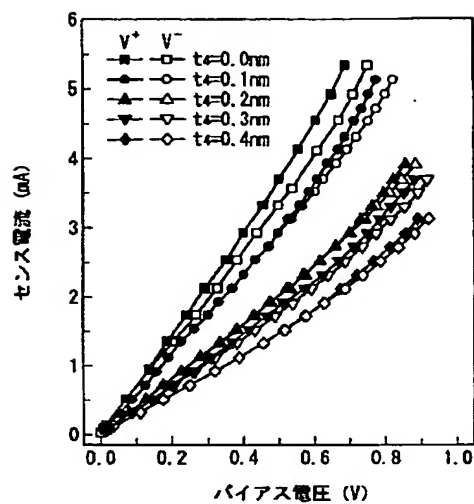
【図23】



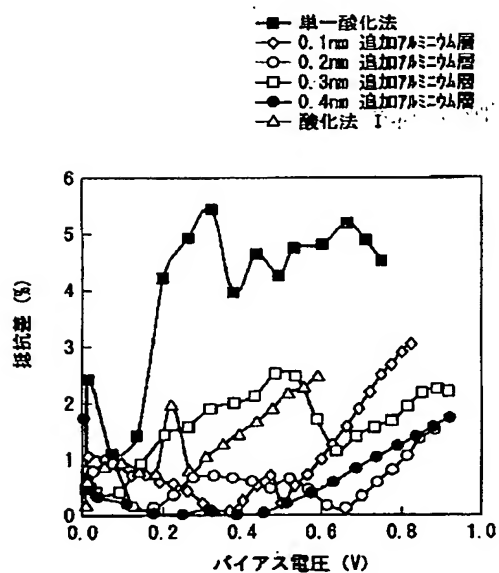
【図24】



【図25】



【図28】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H01L 43/12

識別記号

F I

G01R 33/06

テマコード (参考)

R

Fターム (参考) 2G017 AD55 AD62 AD63 AD65
 5D034 BA02 CA00 CA04 DA07
 5E049 AA01 AA04 AA07 BA12 CB02
 DB12

THIS PAGE BLANK (USPTO)